Ministerio del Deporte
Gobierno de Chile

Instituto Nacional de Deportes
gob.cl

2022-2028

# LINEAMIENTOS UNIDAD DE CIENCIAS APLICADAS AL DEPORTE

**El qué, el cómo y el por qué hacemos lo que hacemos**

**Con prólogos de:**

Martin Buccheit
Kristof Kipp
Bianca Miarka

**LINEAMIENTOS UNIDAD DE CIENCIAS APLICADAS AL DEPORTE 2022-2028**
**© MINISTERIO DEL DEPORTE**
**INSTITUTO NACIONAL DE DEPORTES**

**Sistematización:** Hugo Cerda Kohler, Esteban Aedo Muñoz, Ignacio Solar Altamirano, Danni Haichelis Oxman, Alexi Ponce Hernández, Juan Carlos Ponce Espinoza, Juan Tejo Cárdenas.
**Redacción y edición general:** Hugo Cerda Kohler
**Diseño y diagramación:** Hugo Cerda Kohler

1a edición
Enero, 2022

Fidel Oteiza 1956. Providencia. Santiago, Chile.
www.mindep.cl

**ISBN:** 978-956-8141-01-1

Distribución gratuita. Se autoriza la reproducción total o parcial del contenido del presente libro, la distribución, la comunicación pública y la creación de documentos derivados, siempre y cuando se reconozca la autoría original.

**Para citar este documento:**

Ministerio del Deporte, Instituto Nacional de Deportes, Gobierno de Chile. 2022. «Lineamientos Unidad De Ciencias Aplicadas Al Deporte 2022-2028». (1a ed.), Santiago de Chile.

# TABLA DE CONTENIDOS


**PRÓLOGOS** ... 003

**CAPÍTULO 1** ... 010
Lineamientos transversales, propósito y objetivos de la unidad de ciencias aplicadas al deporte

**CAPÍTULO 2** ... 071
Lineamientos de medicina deportiva aplicada al alto rendimiento

**CAPÍTULO 3** ... 155
Lineamientos de biomecánica deportiva aplicada al alto rendimiento

**CAPÍTULO 4** ... 282
Lineamientos de fisiología deportiva aplicada al alto rendimiento

**CAPÍTULO 5** ... 322
Lineamientos de kinesiología deportiva aplicada al alto rendimiento

**CAPÍTULO 6** ... 411
Lineamientos de nutrición deportiva aplicada al alto rendimiento

**CAPÍTULO 7** ... 476
Lineamientos de psicología deportiva aplicada al alto rendimiento

# PRÓLOGOS

**Cecilia Pérez Jara**
Ministra del Deporte

Sin lugar a dudas, la práctica regular de actividad física y deportes durante todo el ciclo de vida y en todo nivel de rendimiento, contribuye sustancialmente al bienestar integral de las personas y mejora exponencialmente la calidad de su entornos y su día a día. Resumen de lo anterior, es que el fomento de la realización de más y mejor ejercicio contribuye al logro de 8 de los 17 Objetivos para el Desarrollo Sostenible planteados por las Naciones Unidas para el 2030. Por lo mismo, y en la búsqueda de una promoción activa del deporte, la Política Nacional de Actividad Física y Deporte 2016-2025 apunta a que Chile logre impulsar una mejora del Alto Rendimiento en el concierto internacional de manera de posicionar al país como un competidor permanente, mediante la formación y perfeccionamiento del rendimiento convencional y paralímpico. En la línea de avanzar en el cumplimiento de ese objetivo, desde 1995 el Centro de Alto Rendimiento y su equipo científico han estado presentes como apoyo al ciclo deportivo de nuestras y nuestros atletas, desarrollando una metodología de trabajo que permitió algunas mejoras, pero que mantuvo históricamente un foco asistencial que solo cubrió parcialmente el proceso deportivo. Sin embargo, esta lógica cambió a partir del Gobierno del Presidente Sebastián Piñera. No sólo en términos de consolidar una nueva mirada estratégica al respecto, sino que mediante un cambio de paradigma en el apoyo a nuestros atletas. Fue así como, desde nuestra llegada al Ministerio del Deporte, dispusimos de una nueva estructura de trabajo orientada a desarrollar un apoyo continuo y del más alto nivel para beneficiar el trabajo de cada uno de los integrantes del Team Chile y Team Para Chile. Producto de aquello surgió la Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte (UCAD), que se constituyó como una entidad que fortaleció la entrega de recursos y la adquisición de tecnología de primer nivel, facilitando y

profesionalizando el proceso de entrenamiento y competencia de nuestros seleccionadas y seleccionados convencionales y paralímpicos. Sin embargo, el recurso humano y la tecnología asociada, no tienen el mismo impacto si no existe una directriz clara respecto a los nuevos propósitos que queremos cumplir. Por este motivo, la UCAD ha desarrollado los lineamientos estratégicos 2022-2028, relacionados al camino que queremos transitar respecto a la implementación de las ciencias aplicadas al deporte, lo cual ya forma parte fundamental en la planificación de los próximos ciclos olímpicos. Inspirado en estándares internacionales de países exitosos en la materia como Gran Bretaña, Australia, Canadá y Colombia, estamos consolidado la aplicación de un monitoreo continuo, y enfocado en las necesidades de cada uno de los beneficiarios, de tal manera de incorporar un valor agregado en las respectivas preparaciones y competencias de nuestras y nuestros seleccionados. Para la elaboración de estos lineamientos ha sido fundamental la cooperación de todos los profesionales de la UCAD, a quienes agradezco de forma especial por su entrega y dedicación, y por entregarse de forma tan comprometida con el desarrollo del Alto Rendimiento y de la actividad física en general. La ejecución de este tipo de iniciativas me llenan de una profunda satisfacción, no sólo porque significan un avance sustancial en el desarrollo integral de la actividad, sino porque mi principal preocupación al mando del Ministerio del Deporte, siempre han sido nuestras y nuestros atletas, por lo cual cada medida tendiente a mejorar sus carreras profesionales, formarán parte del corazón de mi gestión, lo cual es el combustible que me mueve todos los días para seguir trabajando con el mismo entusiasmo por mejorar el futuro deportivo de nuestro país.

**Martin Buccheit, Ph.D.**
Consultor e Investigador sobre Rendimiento Deportivo
Jefe de Investigación, Inteligencia de Rendimiento en Kitman Labs

En el clima actual de las ciencias del deporte hay una enorme abundancia de tecnología y herramientas de control a disposición de los profesionales. Sin embargo, el hecho de que hayan muchas herramientas disponibles y muchas cosas que podamos medir, no significa que todos los tipos de medición disponibles sean de interés. Más importante que tener una lista extensa de todo lo que se puede medir es tener un marco, un proceso de orientación, para entender qué herramientas y medidas son importantes en su entorno y por qué las utiliza para evaluar lo que realmente necesita o desea.

Este libro es un gran recurso para los entrenadores que deseen obtener una mejor comprensión de los procesos generales de las ciencias del deporte, cuando se trata de medir la carga de entrenamiento, la respuesta del deportista a la carga, así como la planificación del entrenamiento, la vuelta al juego, el trabajo de prevención de lesiones e incluso el análisis de los datos y la evaluación de los cambios en estas últimas variables.

El autor, Hugo Rodrigo Cerda Kohler y su equipo, han hecho un trabajo increíble al resumir todos esos conceptos de una manera muy sencilla y bien estructurada. Disfrute de la lectura... y no olvide tener en cuenta el contexto en el que trabaja antes de intentar aplicar todo este conocimiento – es la aplicación de la ciencia correcta al contexto correcto lo que produce el mayor impacto.

**Kristof Kipp, Ph.D.**
Profesor Asociado, Departamento de Terapia Física y Programa de Ciencias del Ejercicio, Universidad de Marquette, USA

Todos los atletas se esfuerzan por lograr el mejor rendimiento en sus deportes. A medida que los atletas empujan los límites del rendimiento deportivo y se acercan a los límites de las capacidades y habilidades humanas, las mejoras en el rendimiento son cada vez más difíciles de lograr. Por lo tanto, los entrenadores y atletas ahora se enfrentan a la necesidad de optimizar todos los aspectos del entrenamiento, la técnica, entre otros, y la búsqueda de ganancias marginales se ha vuelto cada vez más importante. Dentro de este contexto, la disciplina de la ciencia del deporte aplicada puede asumir un papel importante y ayudar a los entrenadores y atletas a alcanzar sus metas. Por ejemplo, la aplicación de principios científicos al perfil de las capacidades neuromusculares puede ayudar a identificar limitaciones que podrían ser dirigidas con intervenciones de entrenamiento específicas.

En este libro, líderes de la Unidad de Ciencias Aplicadas al Deportes han compilado recursos integrales que serán útiles e informativos para entrenadores y atletas a todos los niveles. Incluso otros científicos del deporte pueden encontrar información relevante y basada en la evidencia que podría facilitar sus prácticas diarias y mejorar los servicios que proporcionan. Animaría a los entrenadores, atletas, y científicos del deporte a leer este libro y utilizarlo para informar las decisiones cotidianas de modo que puedan garantizar adaptaciones favorables a corto plazo, alcanzar objetivos de entrenamiento a largo plazo y, en última instancia, maximizar el rendimiento deportivo.

**Bianca Miarka, Ph.D.**
Coordinadora del Laboratorio de Psicofisiología y Rendimiento en Deportes y Combates, Facultad de Educación Física y Deportes, Universidad Federal de Rio de Janeiro, Brasil.

"El talento gana partidos, pero solo el trabajo en equipo gana campeonatos".

Michael Jordan

Michael Jordan, uno de los nombres más importantes del deporte moderno, no fue elegido al azar para presentar el prefacio del libro "directrices sobre ciencia del deporte de alto rendimiento": este trabajo llevado a cabo en un equipo fuerte y unido aporta conocimientos actualizados y profundos para descubrir nuevos talentos. Además de agregar información sobre técnicas y métodos utilizados en el entrenamiento y preparación física de atletas individuales y equipos para competencias deportivas. Es en la Ciencia del Deporte que este equipo de profesionales con proyección internacional de la Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte del Ministerio del Deporte de Chile construye una obra sólida e histórica para todo el deporte chileno. Cuando el Prof. Hugo Cerda-Kohler me invitó a escribir el prefacio de este excelente trabajo, me sentí honrada y acepté de buena gana. También digo que en este libro están presentes importantes profesionales del mundo del deporte, como Hugo Cerda-Kohler, Esteban Aedo-Muñoz, Danni Haichelis, Ignacio Solar, Alexi Ponce, Juan Carlos Ponce, Juan Tejo, Daniel Bueno y otros innumerables que dan lo mejor de sí al lector. El aprendizaje aplicado y teórico reflejado en este trabajo trae aspiraciones de un cambio, no solo en cómo los entrenadores y profesionales del deporte aplican los métodos y conceptos mostrados en este libro, sino también en un impacto real en el aumento de la calidad y cantidad de deportistas de alto rendimiento. Y, si bien los años de formación académica me han aportado conocimientos sobre investigación, extensión, docencia y gestión, además de valores éticos y buenas costumbres, desde temprana edad lo más imprescindible fue en materia de valores. Y cambios importantes fueron el hecho de aprender a preguntar: ¿qué puedo hacer hoy que resulte en un cambio sensato, que

me ayude a mí y a los que me rodean? ¿Cómo puedo mejorar, aprender, hacer crecer y compartir información de una manera significativa y divertida? Estas preguntas se responden en este libro en varios aspectos. Las comparaciones entre modelos interdisciplinarios versus modelos multidisciplinarios, por ejemplo, muestran nuevos caminos que inspiran el trabajo en equipo. Desde muy temprana edad me involucré con el deporte, en valores comunes a las enseñanzas filosóficas que me guiaron hacia la práctica pedagógica del judo, a la edad de 8 años. En esta modalidad, los años de formación como judoca proporcionaron conocimientos tácitos sobre justicia, moralidad, coraje, compasión, cortesía, sinceridad, honor, lealtad - estos y otros valores y pilares que guiaron no solo la formación, sino también la forma de lidiar con diferentes circunstancias. Es por eso que la UCAD muestra en este trabajo, propósitos, objetivos, valores y pilares rectores para la mejora del rendimiento, prevención de lesiones, diagnóstico, rehabilitación, reintegración, tecnología e innovación en el entorno deportivo chileno.

Como dije, desde los primeros años me tomé el deporte muy en serio; esta pasión me trajo la primera medalla internacional en 1994 y la última en 2014. Esto en disciplinas completamente diferentes. Aprendí que la permanencia a largo plazo en el alto rendimiento está asociada no solo a la dedicación, sino especialmente al conocimiento científico. Lo cual fue muy beneficioso para mi carrera académica durante la Maestría y Doctorado, en los que trabajé con monitoreo externo de carga en judo. Cabe mencionar el hecho de que conocí el trabajo del profesor Esteban Aedo-Muñoz, ahora un gran amigo, hace unos años por sus estudios en monitorización de cargas externas y biomecánica. Estos temas pueden inspirar a nuevos científicos del deporte y pueden leerse en el tópico sobre "Uso de datos para monitorear y guiar el desarrollo a corto y largo plazo". Es a través del seguimiento de los deportes que podemos aprovechar las carreras deportivas, prevenir lesiones e incluso extender el tiempo de carrera de un atleta.

La información actual proporcionada en este trabajo es capaz de prolongar con calidad el tiempo en alto rendimiento de muchos deportistas. A finales de Beijing 2008, Michael Phelps, quien ganó el

récord histórico de más medallas de oro en una sola edición en los Juegos Olímpicos, con ocho medallas planteó preocupaciones que ocurren en el éxito: bueno, ¿qué hago ahora? ¿qué es mejor para mi? Necesito buscar opciones para el futuro. Ciertamente, muchos de ustedes, maestros, estudiantes y entrenadores, eran atletas de diferentes niveles y pueden haberse enfrentado a estas mismas preguntas. A ellos sugiero la lectura del capítulo de ciencia aplicada al deporte como soporte para el desarrollo de la formación de largo plazo. Quizás la principal respuesta a las preguntas de Phelps sea el hecho de que ha prolongado su carrera como nadador de alto rendimiento. En otras palabras, haz lo mismo de otra manera: entrena la natación con medios y métodos con innovación continua que consideran la edad, el tiempo de experiencia y las tecnologías que aportan rendimiento, bienestar y calidad de vida. Sin embargo, para cambiar los métodos, técnicas y prescripciones de entrenamiento, es esencial tener evaluación, control de carga y reevaluación. Nuevamente, el talento puede ganar partidos, pero es el trabajo de un gran equipo como el de UCAD el que gana campeonatos y logra que el progreso de los atletas sea tan placentero como lograr victorias en competencias de alto rendimiento.

CAPITULO 1

# LINEAMIENTOS TRANSVERSALES, PROPÓSITO Y OBJETIVOS DE LA UNIDAD DE CIENCIAS APLICADAS AL DEPORTE

**Autores**
Hugo Cerda Kohler,Esteban Aedo Muñoz, Igncio Solar, Danni Haichelis, Alexis Ponce, Juan Carlos Ponce, Juan Tejo, Daniel Bueno.

# TABLA DE CONTENIDOS


Introducción 012

Definición de Ciencias Aplicadas al Deporte 013

Modelos Interdisciplinarios Versus Modelos Multidisciplinarios 016

Utilización de Datos para Monitorear y Guiar el Desarrollo a Corto y Largo Plazo 018

Concepto de Carga de Entrenamiento 022

Carga de Entrenamiento y sus efectos 023

Factores que determinan el Efecto del Entrenamiento 028

Contenidos de la carga 029

Volumen de la carga de entrenamiento 030

Organización de la carga de entrenamiento 031

Ciencias Aplicadas al Deporte como Apoyo al Desarrollo a Largo Plazo 032

Propósito de la UCAD 035

Objetivos Específicos de la UCAD 035

Valores UCAD 035

Pilar de Rendimiento Deportivo 037

Pilar de Prevención de Lesiones y Enfermedades 037

Pilar de Evidencia Diagnóstica, Rehabilitación y Reintegro Deportivo 037

Pilar de Perfeccionamiento, Investigación, Tecnología e Innovación 040

Implementación del Monitoreo Inter/Transdisciplinario en el Alto Rendimiento 052

Interpretación y Entrega de Resultados en Ciencias Aplicadas al Deporte 058

Características Estadísticas Importantes 061

Estableciendo el Cambio Mínimo Sustancial 063

Referencias 068

# INTRODUCCIÓN

El éxito deportivo a nivel internacional depende aproximadamente en un 50% de factores difíciles de modificar por políticas deportivas como son el contexto cultural, el modelo económico, la densidad poblacional y el sistema político, entre otros (i.e., nivel macro). El restante ~50%, podría ser influenciado por políticas deportivas que implemente un país (i.e., nivel meso) y de factores específicos como el proceso de entrenamiento, el entorno de los atletas, entre otros (i.e., nivel micro)[1]. Estos factores modificables deben funcionar como un sistema articulado de al menos 9 pilares relacionados entre sí, el cual se denomina **Modelo de Factores de Políticas Deportivas que Conducen al Éxito Deportivo Internacional** (Modelo SPLISS de *Sports Policy factors Leading to International Sporting Success*). La configuración de estos pilares y/o el énfasis de desarrollo de un pilar por sobre otro es diferente para cada país, diversidad que puede estar impulsada por factores sociales, culturales y políticos[2]. En esta línea, la historia muestra que las diferencias entre ganar y perder una medalla en el deporte de alto rendimiento son considerablemente pequeñas. En los Juegos Olímpicos (o Paralímpicos), las diferencias entre el 1º (Oro) y el 4º lugar (sin medalla) pueden ser inferiores al 1.5% para la mayoría de los deportes y eventos. Por lo tanto, las ventajas que pueda entregar el desarrollo de esto pilares, incluso aquellas aparentemente triviales, pueden ser en realidad bastante sustanciales en el ámbito del deporte competitivo[3]. Uno de estos pilares es la **Investigación Científica e Innovación**, pilar que incluye a las Ciencias Aplicadas al Deporte, el cual debe apoyar y articular transversalmente con los otros pilares [1,2,4] (**Figura 1**). Esto último resalta la importancia de *desarrollar estratégicamente y a largo plazo las Ciencias Aplicadas al Deporte en el alto rendimiento en Chile.* Además, permite tributar a diferentes **Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030** como son: (i) ODS 4 Educación de Calidad, (ii) ODS 5 Igualdad de Género, (iii) ODS 8 Trabajo Decente y Crecimiento Económico, y/o (iv) ODS 10 Reducción de las Desigualdades, entre otros.

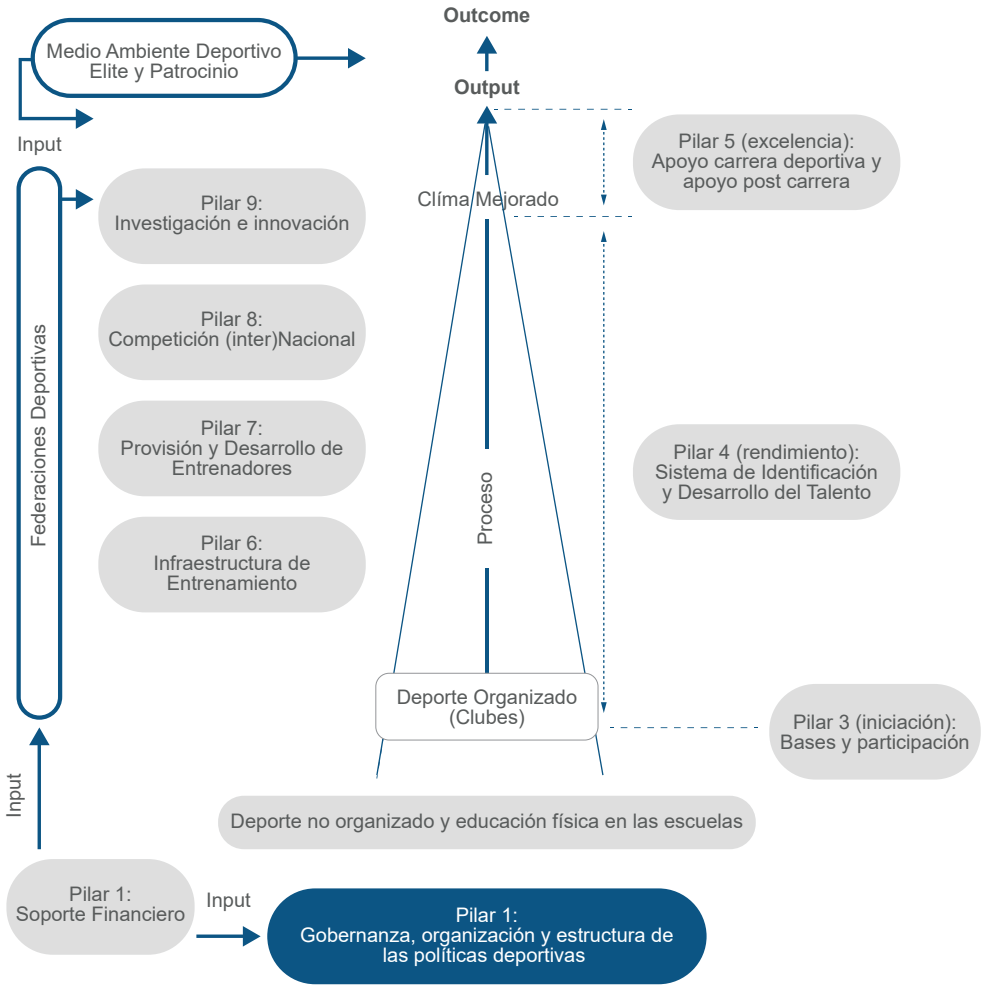



**Figura 1.** Modelo de Factores de Política Deportiva que Conducen al Éxito Deportivo Internacional (Modelo SPLISS) (Adaptado de De Bosscher y cols. 2006-2016[1,4]).

# Definición de Ciencias Aplicadas al Deporte

Podríamos definir a la **Ciencia** como la búsqueda de enfoques lógicos para descubrir cómo funcionan las cosas dentro del universo natural, donde la aplicación de métodos sistemáticos de investigación nos permite generar conocimiento, explicaciones comprobables y comprensión de fenómenos. Siguiendo esa línea, las **Ciencias Aplicadas al Deporte** son la aplicación de la teoría científica al deporte, o el

estudio del deporte utilizando métodos científicos de investigación en los campos del rendimiento humano, el esfuerzo atlético y la competencia deportiva. Si bien es importante comprender cómo responde la fisiología humana a diferentes factores de estrés, estímulos e intervenciones de entrenamiento (i.e., el estrés fisiológico experimentado durante el ejercicio y las adaptaciones que se producen como consecuencia de este estrés), el objetivo fundamental de las Ciencias Aplicadas al Deporte es maximizar el potencial de rendimiento de los atletas para aumentar sus probabilidades de éxito. Por lo tanto, representa la generación y recopilación de información utilizando métodos científicos de investigación *para respaldar una mejor toma de decisiones con el fin de ganar en una competencia deportiva*[5].

En la base de la metodología de las Ciencias Aplicadas al Deporte se encuentran los principios rectores de la investigación científica como el empirismo, el racionalismo y el escepticismo: **El empirismo** es la filosofía de la ciencia que enfatiza el uso de evidencia, especialmente tal como se descubre a través de la experimentación, y sugiere que todas las hipótesis y teorías deben probarse contra observaciones del mundo natural en lugar de basarse únicamente en el razonamiento a priori (i.e., algo que se puede saber sin experiencia ni datos). Por su parte, el **racionalismo** representa una metodología en la que el criterio de verdad no es sensorial, sino intelectual y deductivo. El racionalismo es la teoría de que la razón, más que la experiencia, es la base de la certeza en el conocimiento. Finalmente, el **escepticismo** es la escuela filosófica de pensamiento que cuestiona la posibilidad de certeza en el conocimiento. La ideología escéptica se puede generalizar como la suspensión del juicio debido a la insuficiencia de la evidencia. Este enfoque científico para comprender las complejas demandas del rendimiento deportivo, estudiar el cuerpo de la investigación guiada en evidencia, responder preguntas, resolver problemas relacionados con el deporte o desarrollar formas nuevas e innovadoras de operar está representado por un enfoque metodológico simple que sigue una serie de pasos para lograr los objetivos planteados (**Figura 2**). Los científicos del deporte son las personas que emprenden el pensamiento crítico para

estudiar e investigar conceptos relacionados con el rendimiento deportivo, y luego transmitir los hallazgos de estas investigaciones a los atletas y entrenadores, de modo que estos puedan utilizar los hallazgos para tomar decisiones mejor informadas. Por lo tanto, poder contar con una unidad científica aplicada al deporte que vaya más allá de sólo evaluar y entregar informes, sino que sea capaz de *generar conocimientos e interpretar y entregar propuestas a cuerpos técnicos y atletas a través de un monitoreo sistemático de manera inter/transdisciplinaria* es uno de los principales desafíos que tenemos para seguir apoyando el desarrollo del deporte de alto rendimiento.

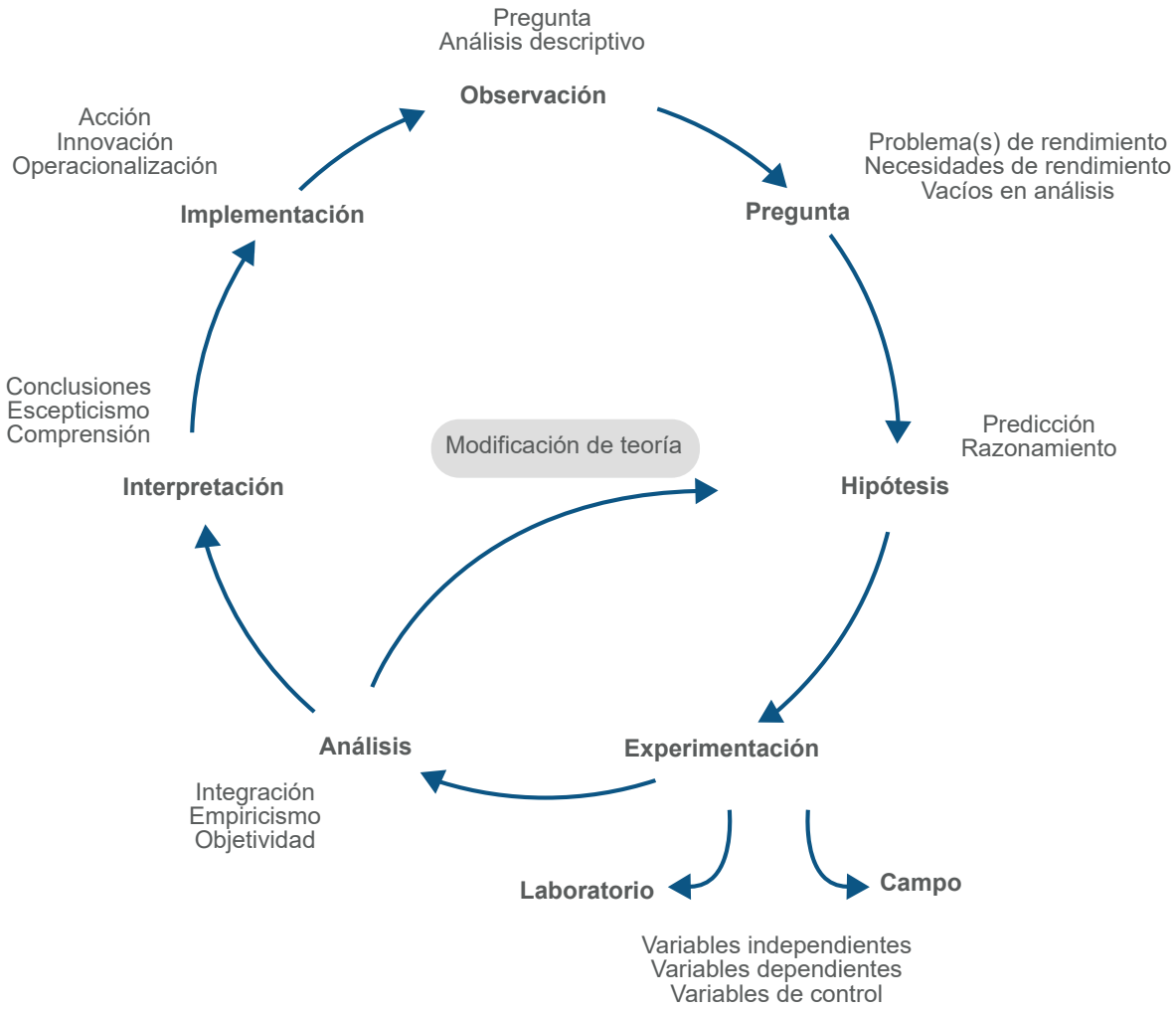



**Figura 2.** Ciclo de la metodología científica en Ciencias Aplicadas al Deporte (Adaptada de French y cols[5]).

# Modelos Interdisciplinarios Versus Modelos Multidisciplinarios

A medida que las organizaciones deportivas adoptan una estructura que involucra diferentes expertos científicos, el modelo interdisciplinario de alto rendimiento se ha convertido en la norma mínima para la prestación de apoyos óptimos. Reunir muchas áreas científicas diferentes, cada una con su propio conocimiento disciplinario, tiene el potencial de crear colaboraciones que podrían maximizar la preparación y el rendimiento competitivo de un atleta. Hoy en día se está aceptando el establecimiento de un grupo diverso de expertos como la forma de mejorar todos los factores que afectan el rendimiento deportivo como son el desarrollo de las capacidades físicas, la mejora de las habilidades técnicas, la prevención y/o rehabilitación/reintegro deportivo de lesiones y muchos otros factores relacionados. No obstante, una filosofía multidisciplinaria no garantiza necesariamente la causalidad circular deseada, corriendo el riesgo de volverse reduccionistas o individualizada en su enfoque. Si bien es favorable articular diferentes áreas científicas y técnicas, el simple hecho de tener una estructura multidisciplinaria no garantiza que se produzca el intercambio integrado de conocimientos, el flujo de trabajo colaborativo y la alineación de objetivos unificados. En lugar de adoptar un paradigma multidisciplinario, los verdaderos equipos de apoyo de alto rendimiento operan de manera interdisciplinaria. A pesar de la semántica, el enfoque multidisciplinario refleja sólo la agregación de muchas disciplinas diferentes juntas, mientras que interdisciplinario se refiere a la colaboración cruzada de disciplinas individuales, la integración de métodos y conocimientos, y la síntesis de enfoques unificados. El concepto multidisciplinario simplemente se refiere a miembros del equipo de diferentes áreas especializadas que trabajan juntos, pero permanecen en su disciplina, mientras que los sistemas interdisciplinarios unen a esos miembros del equipo y colocan su experiencia y conocimiento científico colectivamente en un plan integrado. Como consecuencia, los apoyos se vuelven más condensados, más específicos, más integrados y más dirigidos a objetivos desde una única vía. Un aspecto central del

paradigma del apoyo interdisciplinario es la capacidad de crear un **enfoque centrado en el atleta**, mediante el cual la experiencia colectiva se alinea para el mejoramiento del equipo, del atleta o de ambos, y esto solo se logra cuando se adopta una estrategia unificada. Los apoyos interdisciplinarios representan la panacea de la ciencia del deporte; una estructura verdaderamente de alto funcionamiento, innovadora y que afecta el rendimiento que incluye todas las disciplinas científico-técnicas colaborando de manera interdisciplinaria (i.e., compartiendo, desafiando, innovando). Para lograr un trabajo interdisciplinario, los respectivos miembros del equipo deben reconocer su rol y cómo se alinea con la misión mayor (i.e., cómo lograr el éxito), así cómo reconocer la importancia que tienen otras áreas científico-técnicas en este proceso. Ninguna disciplina tiene todas las respuestas necesarias para resolver todo el rompecabezas del rendimiento. Por lo tanto, la reducción de las barreras específicas de la disciplina y la eliminación de los enfoques en silos es fundamental para optimizar el rendimiento deportivo.

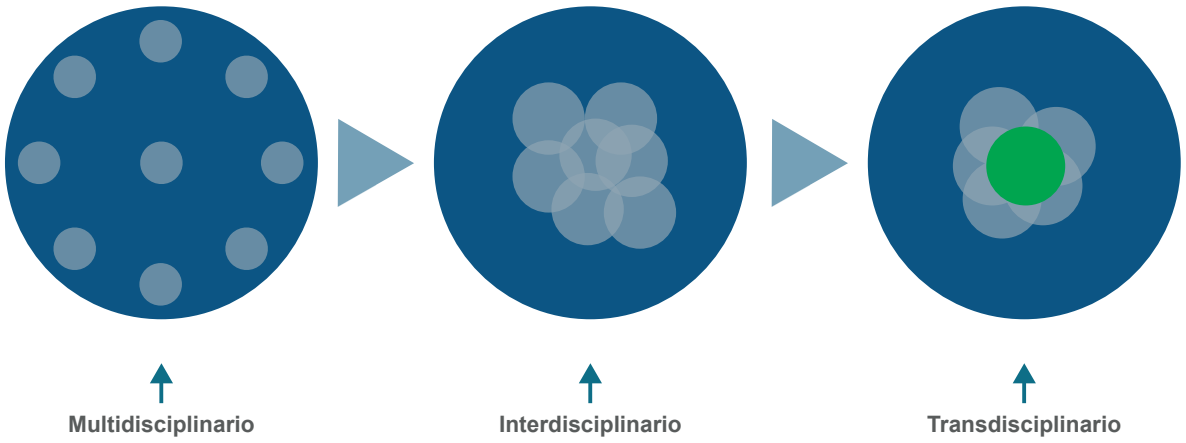



**Figura 3.** Modelos disciplinarios utilizados en el Alto Rendimiento Deportivo (Adaptado de French y cols.[5] y Cooke y cols[6]).

Acorde a lo anterior, las Ciencias Aplicadas al Deporte en el alto rendimiento debieran apuntar a ser una construcción principalmente **interdisciplinaria** (i.e., integra los conocimientos y métodos de diferentes disciplinas, utilizando una síntesis real de enfoques) y a

veces **transdisciplinaria** (i.e., crea una unidad de marcos intelectuales más allá de las perspectivas disciplinarias; **Figura 3**)[5,6], que tienen sus raíces en la fisiología, la bioquímica, la biomecánica, la nutrición y la adquisición de habilidades, entre otras. Además, implica el uso de herramientas estadísticas y campos más amplios de ciencia de datos, análisis y gestión de tecnología. Al integrar cada una de estas disciplinas de manera inter/transdisciplinaria, es posible utilizar enfoques colectivos para abordar una serie de problemas basados en el rendimiento dentro del paradigma del entrenamiento y la competición deportiva (e.g., gestión de la carga de trabajo, bajo rendimiento, energía y alimentación, o recuperación post competencia)[5]. Así, este paradigma fomenta el trabajo holístico, donde cada profesional debe aportar soluciones integrativas que vayan más allá de recolectar datos y entregar informes reduccionistas que apunten sólo a la entrega de números; más bien debemos apuntar a entregar sugerencias, recomendaciones y/o soluciones a posibles problemas detectados en el proceso, *propiciando el monitoreo sistemático y el desarrollo atlético a corto y largo plazo.*

# Utilización de Datos para Monitorear y Guiar el Desarrollo a Corto y Largo Plazo

La determinación de **perfiles** (i.e., profiling) y la **valoración comparativa** (i.e., benchmarking) son puntos claves para analizar a los atletas y fundamental para monitorear e informar acerca del entrenamiento y posibles ajustes a la planificación. Esto permite desarrollar una imagen completa del atleta (i.e., fortalezas y debilidades) de los aspectos físicos, psicológicos, técnicos y tácticos, teniendo implicaciones tanto para el rendimiento deportivo como para la prevención de lesiones. Así, la utilización de datos para el monitoreo sistemático permite entregar información para la toma de decisiones en relación al desarrollo del atleta a corto y largo plazo[5,7-9].

Los elementos y acciones que utilicen las Ciencias Aplicadas al Deporte deben apuntar a mejorar el **monitoreo** sistemático de la preparación, progresión y competencia de los atletas vinculados al alto rendimiento, valorando así los diferentes efectos del entrenamiento inducidos por la preparación atlética[10-12]. El monitoreo sistemático de las variables relacionadas con el rendimiento deportivo ayuda a los profesionales a valorar la eficacia de sus programas de entrenamiento y a decidir cómo progresar o actualizar esos programas. *Un sistema de monitoreo debe tener el rendimiento deportivo como consideración subyacente,* e intenta cuantificar factores como la carga de entrenamiento, las variables del entrenamiento y los factores del estilo de vida (e.g., sueño, nutrición, estrés)[7]. Este proceso debe tener en cuenta las características individuales, estableciendo un sistema exigible a todos los atletas, donde los entrenadores deben contar siempre con información respecto de las cualidades particulares de los atletas. Ver a los atletas con un buen rendimiento, estableciendo récords personales o ganando competencias son grandes placeres para los científicos del deporte ya que la información que ha sido recopilado sobre el atleta o que ha sido sintetizada a partir de la literatura pudo ser de ayuda para el atleta y cuerpos técnicos para lograr ese rendimiento óptimo. Por el contrario, ver un rendimiento deficiente inspira el análisis y la reflexión sobre qué salió mal con la preparación, la táctica o la ejecución del plan de entrenamiento. Ambos escenarios proporcionan la base para las preguntas que impulsan la investigación en ciencias del deporte. Debido a que gran parte de la preparación de los atletas está relacionada con la estructura y los detalles del programa de entrenamiento, existe un énfasis natural en cómo el entrenamiento influye en el rendimiento. El concepto de monitoreo del entrenamiento, independientemente del marco de tiempo histórico, se trata esencialmente de la interfaz entrenador-atleta, donde el mayor valor de las Ciencias Aplicadas al Deporte está relacionado con la optimización de esta interfaz (i.e., brindando al atleta un entrenador más preparado y mejor informado)[13]. Aceptando la premisa de que un rol esencial de las Ciencias Aplicadas al Deporte es informar y apoyar la relación entrenador-atleta, la **Tabla 1** proporciona una aproximación razonable sobre qué necesita el entrenador de la comunidad científica del deporte.

**Tabla 1.** Lo que los entrenadores necesitan de las Ciencias Aplicadas al Deporte a través del monitoreo sistemático (Adaptado de Foster 2017)[13].

| | |
|---|---|
| Una forma de valorar el potencial del atleta | Los entrenadores necesitan saber, más allá de las promesas e intereses iniciales, si un atleta en particular tiene el talento suficiente para rendir a un alto nivel. |
| Una forma de valorar y monitorear el estado actual de un atleta | Es útil poder valorar el rendimiento de una manera que sea independiente de las condiciones ambientales momentáneas. Factores como la superficie del lugar, la temperatura, la humedad, el viento, entre otros, pueden tener un impacto sustancial en los resultados de un test. El científico deportivo a menudo puede proporcionar condiciones más consistentes a través de diferentes estrategias. |
| Una forma de monitorear cómo está respondiendo un atleta a un programa de entrenamiento | Dado que los programas de entrenamiento para un grupo de atletas a veces son genéricos, es útil valorar cómo un atleta de un grupo está respondiendo al entrenamiento en comparación con otro atleta del mismo grupo y consigo mismo. Los entrenadores necesitan una respuesta a la pregunta fundamental de si el atleta está respondiendo al entrenamiento, si es desafiado adecuadamente por la carga de entrenamiento o si la carga de entrenamiento lo está perjudicando. |
| Una forma de monitorear el progreso, que se traduce en rendimiento | El monitoreo del progreso también debe ser interpretable en tiempo real, para que el entrenador pueda tomar decisiones del día a día sobre la modificación del programa de entrenamiento; algo que las valoraciones de laboratorio a veces no hacen bien. Además, es una experiencia común que los entrenadores piensen que, debido al descanso requerido para proporcionar las condiciones estándar de laboratorio, los atletas están “perdiendo entrenamiento real” para hacer valoraciones de laboratorio. |

En concordancia con lo anterior, es muy importante considerar que la intervención e interpretación de los resultados del monitoreo debe intentar estar relacionada con el medio ambiente en el que se desenvuelve el individuo (validación ecológica). Así, este proceso debe proporcionar información que permita[7]:

- Conocer el rendimiento del atleta en las diferentes dimensiones valoradas. Es decir, permite identificar las fortalezas y debilidades del atleta.
- Valorar al atleta, entendiendo esto como el primer momento del proceso de valoración que pretende determinar el nivel de una situación o de un individuo con relación a determinados parámetros.

- Pronosticar y proyectar las posibilidades biológicas y deportivas del atleta.
- Motivar e incentivar al atleta.
- Agrupar, clasificar y/o seleccionar atletas.
- Monitorear la eficacia del sistema de entrenamiento, valorando si los objetivos han sido adecuados a las posibilidades del atleta y/o si los contenidos, métodos y medios del entrenamiento están siendo o han sido los más convenientes.
- Comprender la respuesta individual al entrenamiento y competencia, ayudando al staff técnico-científico a tomar decisiones informadas sobre cambios en el programa de entrenamiento.
- Maximizar la comprensión del staff técnico-científico y del atleta sobre las necesidades del deporte.
- Valorar la fatiga y las necesidades adecuadas para la recuperación.
- Minimizar los riesgos de sobrecarga no-funcional, lesiones y enfermedades.
- Obtener datos para Investigación, Tecnología e Innovación.

El proceso de monitoreo sistemático de la preparación, progresión y competencia de los atletas es esencial ya que existe una relación entre cargas de entrenamiento, la capacidad de asimilar tales cargas, el rendimiento deportivo y la salud/bienestar del atleta[14-16]. Las adaptaciones positivas al entrenamiento ocurren cuando la carga aumenta de manera gradual y sistemática por encima de la capacidad de carga actual de un atleta. Esto sugiere que, para aumentar la tolerancia a las cargas de entrenamiento, todo lo que se tiene que hacer es progresar de manera segura la carga por encima de la capacidad actual. No obstante, la capacidad de carga también está influenciada por factores asociados a la salud y el bienestar de los atletas (e.g., estado de ánimo, estrés, calidad del sueño, entre otros), por lo que la carga que se puede tolerar hoy, podría no ser tolerada de la misma manera mañana. Por lo tanto, para incrementar de forma segura la carga de entrenamiento, también se deben considerar aspectos que puedan impactar en la salud y el bienestar de un atleta (e.g., carga laboral, carga académica, relaciones personales, entre otros). Al aumentar la capacidad

de carga, antes de "pisar el pedal a fondo" (o progresar sensiblemente la carga), es posible que tengamos que "frenar suavemente" (en ocasiones, retroceder la carga), siendo el monitoreo sistemático una herramienta clave para entregar información que permita tomar decisiones relacionadas a este proceso. Debido a que el monitoreo de la **carga de entrenamiento** y sus efectos es la génesis y el principal motor de nuestro quehacer diario, a continuación, se desarrollará este concepto con el objetivo de entregar una visión general que permita comprender el desarrollo de las acciones que se presentarán en los siguientes capítulos.

# Concepto de Carga de Entrenamiento

El entrenamiento atlético o deportivo es el proceso de realización sistemática de ejercicios para mejorar las capacidades físicas y adquirir habilidades deportivas específicas. Cuando se realizan de forma adecuada, inducen una respuesta adaptativa funcional que sustentan los cambios en diversos resultados del entrenamiento, como el rendimiento físico, la prevención de lesiones o la mejora/mantención de la salud y el bienestar de los atletas[17]. La periodización y planificación detallada de las cargas de entrenamiento (volumen, intensidad, secuenciación, entre otros) destinada a desarrollar óptimamente la capacidad de trabajo tiene poco impacto sobre el rendimiento si es que no se monitorean constantemente los cambios relacionados a la destreza técnica y el rendimiento deportivo. Si bien las valoraciones de laboratorio o de campo pueden entregar información importante, en algunos casos sólo identifican el potencial ofrecido por la capacidad de trabajo de un atleta, pero no representan de manera holística su preparación funcional que depende de la maestría adquirida sobre las capacidades técnicas motrices específicas, que son en última instancia las responsables del rendimiento. En este sentido, es esencial monitorear cuantitativamente los cambios progresivos que se generen en las capacidades técnicas (e.g., registro del grado de estabilidad técnica del atleta como porcentaje de aciertos en la ejecución de las mismas técnicas específicas durante los entrenamientos y la competencia). Esto

permitirá mejorar la conexión entre la forma física del atleta y la estructura de cargas, lo cual es el eje central entre la teoría y la práctica de la planificación del entrenamiento. No obstante, esto último es uno de los puntos más débiles de la gestión del entrenamiento y requiere de una atención especial por parte de científicos y entrenadores, siendo una conexión extremadamente compleja que depende de múltiples factores y variables (**Figuras 4**)[12].

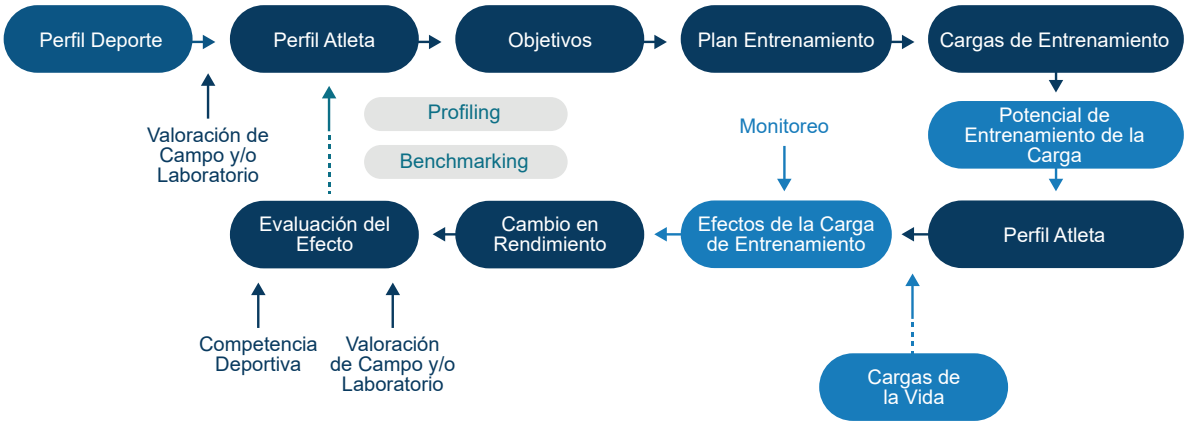



**Figura 4.** Marco conceptual para la organización del entrenamiento deportivo (Adaptado de Verkhoshansky[12]).

# Carga de Entrenamiento y sus efectos

Para entender de manera holística el proceso de preparación de los atletas es necesario comprender los efectos fisiológicos inducidos por el estrés del entrenamiento. Para optimizar los programas de entrenamiento, el staff técnico necesita una comprensión sólida de la relación dosis-respuesta, y cómo los factores involucrados en la preparación del atleta afectan esta relación. Optimizar la relación dosis-respuesta es un equilibrio delicado que requiere implementar con precisión la cantidad de entrenamiento. Un desequilibrio puede resultar en respuestas negativas, una disminución del rendimiento y en adaptaciones inadecuadas. El manejo efectivo de la relación dosis-respuesta está en el centro de lo que el staff técnico está tratando de lograr en el entrenamiento; es decir, optimizar el rendimiento deportivo. Una comprensión precisa de cómo las dosis de entrenamiento

provocan respuestas específicas es un buen punto de partida y debería ayudar a los involucrados a mejorar los programas de entrenamiento[5,11,12].

Varios modelos explican los efectos fisiológicos de un estímulo agudo de entrenamiento (e.g., modelo del síndrome de adaptación general, modelo de fitness-fatiga y modelo de estímulo-fatiga-recuperación-adaptación). Estos modelos destacan factores generales y específicos relacionados con el monitoreo del estrés fisiológico. Los tres reconocen que la fatiga excesiva, sin una recuperación adecuada, puede resultar en adaptaciones inadecuadas, particularmente en una disminución del rendimiento. En casos extremos de períodos prolongados de fatiga, pueden producirse sobrecargas funcionales y no funcionales, lo que podría terminar en sobre-entrenamiento[7,8].

*El modelo de fitness-fatiga (teoría de dos factores)*

Como ejemplo de estos modelos, podemos plantear que la teoría del entrenamiento de dos factores[11] se basa en la idea de que la preparación atlética, caracterizada por el potencial de rendimiento deportivo del atleta, no es estable sino que varía con el tiempo. Acordemente, hay dos componentes involucrados en la preparación del atleta: (i) los que cambian lentamente y (ii) los que cambian rápidamente. El término aptitud física se usa para los componentes motores de la preparación del atleta que cambian lentamente, y no varía sustancialmente durante varios minutos, horas o incluso días. Sin embargo, como resultado de la fatiga, el estrés psicológico o un estado de salud adverso, la disposición de un atleta hacia la competencia puede cambiar rápidamente. Según este modelo, el efecto inmediato del entrenamiento después de una carga de entrenamiento es una combinación de dos procesos: (i) el aumento de la forma física impulsada por el entrenamiento, y (ii) la fatiga. En este sentido, después de un entrenamiento, se espera que la preparación de un atleta (*preparedness*) mejore debido a la ganancia de fitness, pero se deteriore debido a la fatiga. El resultado final está determinado por la suma de los cambios positivos y negativos (**Figura 5**). Se supone que la ganancia de condición física resultante de una sesión

de entrenamiento es de magnitud moderada pero duradera, y que el efecto de fatiga es mayor en magnitud, pero de duración relativamente corta.

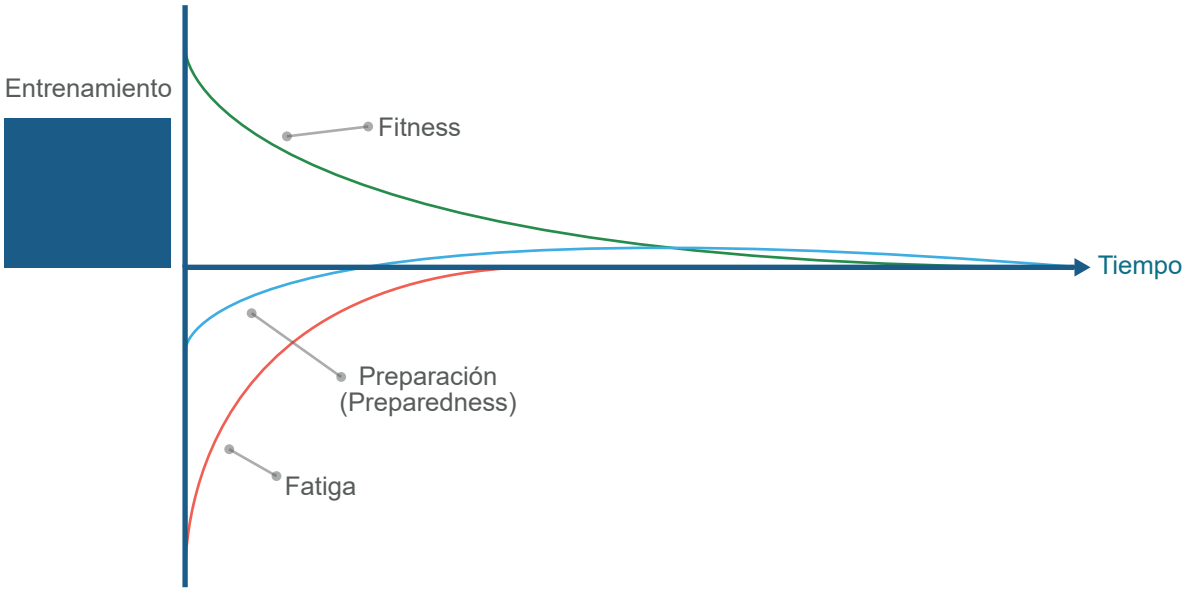



**Figura 5**. Representación gráfica del modelo de fitness-fatiga (teoría de dos factores) (adaptado de Zatsiorski[11]).

Acorde a lo anterior, la planificación y organización del entrenamiento requiere de un conocimiento profundo y exhaustivo de los principios del entrenamiento, lo cual podría verse como un enfoque de gestión. La esencia de la gestión se puede expresar en términos de cambios en el estado de sistemas relevantes que son producidos por ciertas tareas, donde el criterio de efectividad subyace en su funcionamiento o desarrollo. Así, el entrenamiento es organizado en concordancia con tareas específicas (i.e., cargas de entrenamiento) que resultan en mejoras en los resultados deportivos; por lo tanto, el grado de rendimiento deportivo es el criterio de efectividad del entrenamiento.

**La carga de entrenamiento** en el contexto del entrenamiento atlético se ha descrito como la variable de entrada que se manipula para obtener la respuesta de entrenamiento deseada[17], y *se refiere a la cantidad de trabajo realizado en entrenamiento, donde se reconocen concepciones como las cargas externa, interna, psicológica (entre otras), y su efecto sobre el organismo y el efecto percibido*

*subjetivamente por el atleta*. El concepto de carga de entrenamiento sugiere la presencia de una medida fisiológica del efecto del entrenamiento sobre el organismo, lo cual se ve reflejado a través de reacciones biológicas específicas. Así, la carga de entrenamiento puede describirse como externa y / o interna dependiendo de si nos referimos a aspectos medibles que ocurren interna o externamente al atleta. En general, los entrenadores prescriben el entrenamiento de acuerdo a la carga externa para obtener la respuesta psicofisiológica deseada. Es esta respuesta la que corresponde a la carga de entrenamiento interna. En consecuencia, las medidas de carga interna pueden ser indicadores que reflejen la respuesta psicofisiológica real que el cuerpo inicia para hacer frente a los requisitos provocados por la carga externa. Por tanto, el **concepto de carga interna** incorpora todas las respuestas psicofisiológicas que se producen durante la ejecución del ejercicio (único o secuencial) prescrito por el entrenador. Existe la idea errónea de que medidas como la frecuencia cardíaca de recuperación o la variabilidad de la frecuencia cardíaca recopiladas después del ejercicio (inmediatamente después o en la mañana siguiente) son indicadores de carga interna. Sin embargo, estas medidas no pueden considerarse indicadores de carga interna per se, ya que son respuestas que ocurren después y no durante el ejercicio. Una respuesta post-ejercicio puede usarse como una medida indirecta (**carga interna secundaria**) de la carga interna cuando existe una fuerte asociación entre estas 2 variables (i.e., carga interna y la sustituta). Pero incluso en esta situación, esta medida no es estrictamente una medida de la carga interna, sino una medida de la respuesta post-ejercicio a la carga interna. De manera similar, otras medidas comunes de monitoreo de los atletas, como la respuesta hormonal después del ejercicio, las valoraciones de salto utilizadas para determinar la fatiga neuromuscular o los auto-informes de bienestar (i.e., wellness) no deben considerarse como medidas de carga interna. Como regla general, un indicador de la carga de entrenamiento interna (**carga interna primaria**) es cualquier indicador que se pueda utilizar para prescribir la intensidad del ejercicio[17].

Al momento de desarrollar los conceptos de carga externa e interna, se requieren introducir los conceptos de *potencial entrenante de la carga* y el

*efecto entrenante de la carga* para poder describir con mayor precisión la relación existente entre causa y efecto[12]. La influencia de la carga es expresada por su *efecto de entrenamiento* (EE; **Tabla 2**)[10-12], valorada principalmente por los cambios asociados al estado del fitness del atleta, donde la acumulación de efectos de entrenamiento no es la simple suma de los efectos por separados sino más bien una sinergia entre todas las partes. Así, el efecto acumulativo de las cargas puede tener una expresión cuantitativa y cualitativa diferente, dependiendo de factores tales como el estado actual del fitness del atleta, el orden de los diferentes métodos de entrenamiento aplicados durante un periodo, los efectos retardados de la carga precedente, y la duración durante la cual se aplican diferentes cargas de entrenamiento[11,12].

**Tabla 2.** Efectos del entrenamiento inducidos por las diferentes cargas asociadas al proceso de entrenamiento de atletas de alto rendimiento (Adaptado de Verkhoshansky[12], Issurin[10] y Zatsiorsky[11]).

| Tipo de efecto | Definición | Duración |
|---|---|---|
| Efecto Agudo | Cambios en el organismo que ocurren durante el ejercicio. | Segundos, minutos |
| Efecto Inmediato | Cambios en el organismo que son el resultado de una sesión y/o día de entrenamiento. | Horas |
| Efecto Acumulativo | Cambios en el organismo y a nivel motor/técnico que son resultado de una serie de entrenamientos o temporadas de entrenamiento. | Días, meses, años |
| Efecto Retardado | Cambios en el organismo y a nivel motor/técnico que son alcanzados en un periodo de tiempo determinado después de un programa de entrenamiento específico. | Días, semanas |
| Efecto Parcial | Cambios producidos por un solo medio de entrenamiento (e.g., ejercicio de press de banca). | Días, meses, años |
| Efecto Residual | Retención de cambios en el organismo y a nivel motor/técnico después del cese del entrenamiento y posterior a un tiempo determinado. | Días, semanas |

Basado en lo anterior, se puede establecer una diferencia entre un *efecto parcial de entrenamiento* (el resultado de una carga de entrenamiento con un énfasis primario) o un *efecto acumulativo de entrenamiento* (el resultado del efecto generalizado de cargas con énfasis distintos sobre el organismo, aplicados concurrente o secuencialmente). Este razonamiento nos permite plantear la necesidad de monitorear los efectos del entrenamiento en los atletas con respecto a dos criterios: (i) el temporal (agudo, inmediato y retardado), y (ii) el cualitativo (parcial, acumulativo y residual). Además, se debe establecer que si estos efectos son positivos o negativos (i.e., si los efectos de algunas cargas crean o no condiciones favorables para la adaptación a otras cargas) (**Figura 7**).

**Figura 6.** Usos inmediato, a corto y largo plazo de datos para guiar el desarrollo del atleta acorde a los efectos del entrenamiento (adaptado de French y cols.[5], Issurin[10] y Verkhoshansky[12]).

# Factores que determinan el Efecto del Entrenamiento

Para seleccionar las cargas óptimas de entrenamiento es necesario tener una idea de la efectividad que pudiera tener cada una de las cargas planificadas. En este sentido, es útil analizar los efectos de las cargas en términos de sus características (i.e., componentes de la carga) como son los contenidos, el volumen y la organización (**Figura 7**)[12].

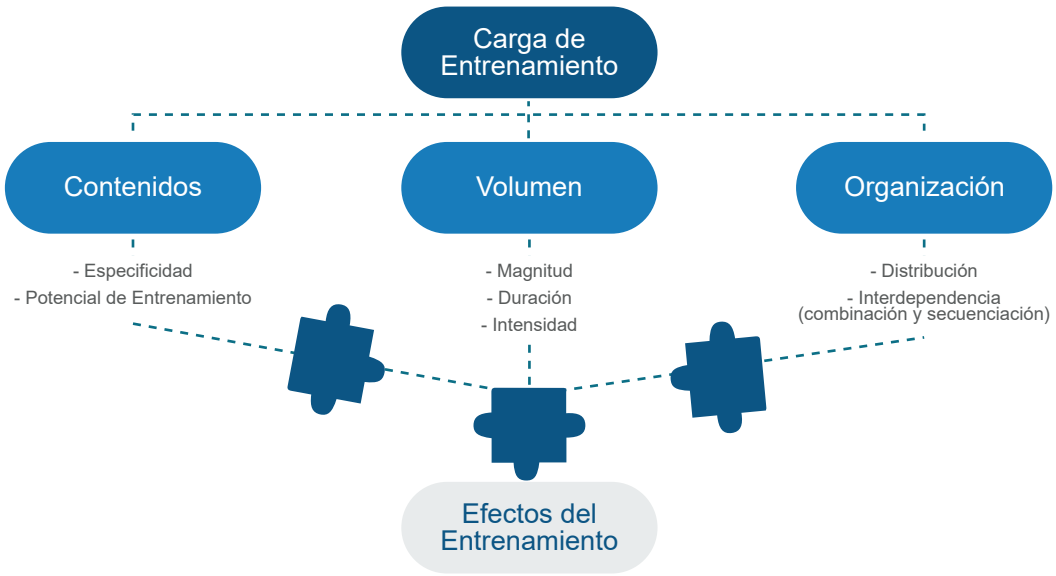



**Figura 7.** Factores relacionados con la producción de efectos de entrenamiento (Adaptado de Verkhoshansky[12]).

# Contenidos de la carga

La planificación del entrenamiento comienza determinando los **contenidos de la carga** en función de valoraciones preliminares utilizando dos criterios: (i) la *especificidad de la carga de entrenamiento* y (ii) el *potencial entrenante* de una carga determinada. La *especificad* del medio de entrenamiento se refiere a la similitud con las actividades competitivas en relación a la estructura motora, el tipo de trabajo y los mecanismos de obtención de energía. Esto permite distinguir entre los medios de entrenamiento de Preparación Física General (PFG) y los de Preparación Física Especializada (PFE). Los medios de PFG se utilizan para el desarrollo atlético general, para activar procesos de recuperación, y/o para facilitar la transición de un tipo de trabajo a otro. Por su parte, los medios de PFE se utilizan principalmente para incrementar la capacidad de trabajo específica, y deben corresponderse lo más posible a la dinámica y el tipo de trabajo desarrollado en la actividad deportiva. Dicha similitud de los medios de entrenamiento con las actividades

deportivas fundamentales en la estructura motora es apropiada solo si mejora directamente el nivel de preparación física y técnica del atleta. El *potencial entrenante* asociado a una carga caracteriza el alcance de su influencia en la condición física del atleta. Cuanto mayor sea el potencial entrenante en relación con el estado físico actual, mayor será la probabilidad de aumentar la capacidad de trabajo especial del atleta. El potencial entrenante de los medios empleados disminuye a medida que se incrementa la capacidad de trabajo especial; por lo tanto, es importante preservarlo introduciendo medios de entrenamientos más efectivos al proceso de preparación de los atletas. En este sentido, también es importante entender que no se deben ocupar medios de entrenamientos complejos en atletas que aún no están preparados para ellos, y se debe sacar el máximo de provecho a los medios que se han estado utilizando antes de introducir otros medios de entrenamiento más complejos o con mayor potencial acorde al nivel del atleta (ver texto asociado a **Figura 8** de valoraciones primarias y secundarias).

# Volumen de la carga de entrenamiento

El *volumen de la carga de entrenamiento* se refiere principalmente a los aspectos cuantitativos del entrenamiento y juega un rol importante en la adaptación a largo plazo del organismo. La función del volumen de la carga consiste principalmente en la perturbación sistemática y prolongada de la homeostasis del organismo, estimulando la movilización de recursos biológicos para restablecer dicha alteración, favoreciendo el desarrollo de adaptaciones a largo plazo. Por lo tanto, en cada ciclo anual sucesivo los atletas deben realizar mayores volúmenes de carga (dentro de límites óptimos) para incrementar y mantener la capacidad de trabajo. Cuando se planifica el entrenamiento, la influencia del volumen puede ser determinado correctamente sólo si se toman en cuenta la *magnitud del volumen, su duración y la intensidad del mismo* (**Figura 7**). *La magnitud del volumen* es la medida cuantitativa de la carga de entrenamiento actual o planificada, calculada durante cada microciclo específico, etapa o ciclo anual. Esta magnitud está determinada en

primera instancia por la capacidad de cada atleta. A mayor capacidad del atleta, mayor es el volumen de carga durante el periodo de preparación. Además, este incremento se va orientando cada vez más hacia la parte especializada de la carga. *La intensidad de la carga* determina la "fuerza" y la especificidad de sus efectos en el organismo o la dificultad del entrenamiento. La intensidad regula el potencial de entrenamiento de un determinado medio, la frecuencia a la cual se puede utilizar, y los intervalos entre medios repetidos o sesiones de entrenamiento con mayor potencial de entrenamiento. Por último, la *duración de la carga de entrenamiento* es una medida vital del volumen y tiene un impacto sustancial en la dinámica del estado del fitness del atleta. La longitud de tiempo sobre la que se aplican los métodos de entrenamiento sistemáticos tiene un rango de límite que propiciará las adaptaciones a largo plazo. Por lo tanto, se debe planificar el entrenamiento tratando de determinar la duración óptima de la carga, sea cual sea su énfasis primario, identificando el ritmo de incremento de los indicadores relevantes del rendimiento.

# Organización de la carga de entrenamiento

La **organización del entrenamiento** se refiere a la regulación de la carga dentro de un periodo específico con el objetivo de asegurar la obtención del nivel de forma física planificada. En este sentido, es importante mantener el potencial entrenante de la carga. Para esto, la organización de la carga de entrenamiento se define mediante 2 criterios: (i) la naturaleza de su distribución y (ii) la secuenciación e interrelación entre las cargas con distinto énfasis primario. La distribución en el tiempo de la carga de entrenamiento hace referencia a su organización en ciclos, estadios, y/o fases independientes dentro del ciclo de entrenamiento (e.g., ciclo olímpico; ciclo anual). La distribución del volumen general de carga y su dinámica en el ciclo anual se determinan mediante los diferentes modelos de periodización y acorde a las características de la adaptación a largo plazo que ocurren en el

organismo. Por último, se debe tener en cuenta que las cargas con énfasis primario se pueden distribuir de dos maneras: (i) carga distribuida (distribución relativamente uniforme de los medios durante el ciclo anual), y (ii) carga concentrada (concentración de los medios de entrenamiento a lo largo de las diferentes fases concretas de entrenamiento). La utilización de cargas con distinto énfasis primario produce un efecto acumulativo de entrenamiento adecuado siempre y cuando se combinen con lógica en el tiempo ya que esta acumulación puede tener efectos positivos o negativos. La secuenciación e interrelación entre las cargas con distinto énfasis primario se manifiesta en la preparación a largo plazo y se consigue mediante la acción del trabajo precedente sobre el trabajo subsiguiente. En este sentido, si el trabajo precedente crea las condiciones favorables para el trabajo subsiguiente, se produce una acumulación positiva de sus efectos de entrenamiento. Por último, la esencia del entrenamiento no solo consiste en el trabajo físico, sino también en el efecto de la reacción adaptativa generada por éste. En este sentido, las periodos de recuperación son un medio de entrenamiento tan importante como el trabajo físico, lo que obliga a emplearlas con sabiduría. Así, el arte del entrenamiento consiste en la combinación sistemática de cargas específicas e inespecíficas, así como también en la regulación cuidadosa de la relación trabajo y descanso. Esto último destaca la importancia del **monitoreo** sistemático de los diferentes efectos de entrenamiento durante todo el proceso de preparación y competencia en nuestros atletas de alto rendimiento, donde las *Ciencias Aplicadas al Deporte pueden tener un rol esencial el desarrollo atlético a largo plazo*.

# Ciencias Aplicadas al Deporte como Apoyo al Desarrollo a Largo Plazo

En ocasiones se ha culpado de las lesiones por sobrecarga a los entrenadores y al manejo que tienen en relación a los ejercicios, métodos, sistemas, programaciones, periodizaciones o planificaciones de entrenamientos prescitos a los atletas. No obstante, en nuestro país

muchas veces la decisión de pasar a un nivel superior a los atletas (e.g., de sudamericano a panamericano) responde solo a una estructura de cumplimiento de resultado deportivo, sin considerar aspectos técnico-metodológicos-científicos que sustenten las bases orgánicas de los atletas para los desafíos superiores que le serán impuestos. Para apoyar la toma de decisiones respecto a incrementar los niveles de exigencia de los atletas (i.e., incrementar la carga de entrenamiento), se debe plantear la realización de diferentes *valoraciones primarias y secundarias* que permitan discriminar niveles y parámetros de rendimiento que sustenten desde el punto biológico tales determinaciones. Las valoraciones primarias contemplan un cantidad de test, variables, medidas y parámetros que proporcionen información necesaria para monitorear el proceso hacia niveles superiores de los atletas, minimizando los riesgos de lesión. Una vez alcanzado los niveles óptimos en las valoraciones primarias, las valoraciones secundarias permitirán ajustar detalles vinculados a la maximización del rendimiento deportivo. Esto se podría ilustrar con la teoría del "Tubo de Pasta de Dientes" (Toothpaste Tube Theory): cuando el tubo de pasta de dientes está lleno (e.g., nivel de habilidad bajo), no importa mucho cómo o dónde se presione el tubo, de todas maneras se obtendrá algo de pasta de dientes (e.g., mejoras de rendimiento); sin embargo, los atletas altamente entrenados requieren un enfoque de objetivo más específico para sacar toda la pasta de dientes[18]. Por lo tanto, en un inicio es importante *monitorear variables primarias* que permitan orientar el entrenamiento para el logro de niveles básicos de rendimiento (e.g., niveles de fuerza máxima, simetrías de fuerza entre hemicuerpos, habilidades técnicas mínimas y/o valores mínimos esperados de consumo máximo de oxígeno). Después de cierto nivel de habilidad, cuando el tubo de pasta de dientes está casi vacío (i.e., márgenes muy estrechos para mejorar), se tendrá que presionar el tubo con gestos muy específicos y bien diseñados. En un contexto de entrenamiento, esto podría relacionarse con valoraciones secundarias que permitan ajustar detalles orientados a alcanzar la maestría deportiva (e.g., eficiencia, técnica deportiva; **Figura 8**).

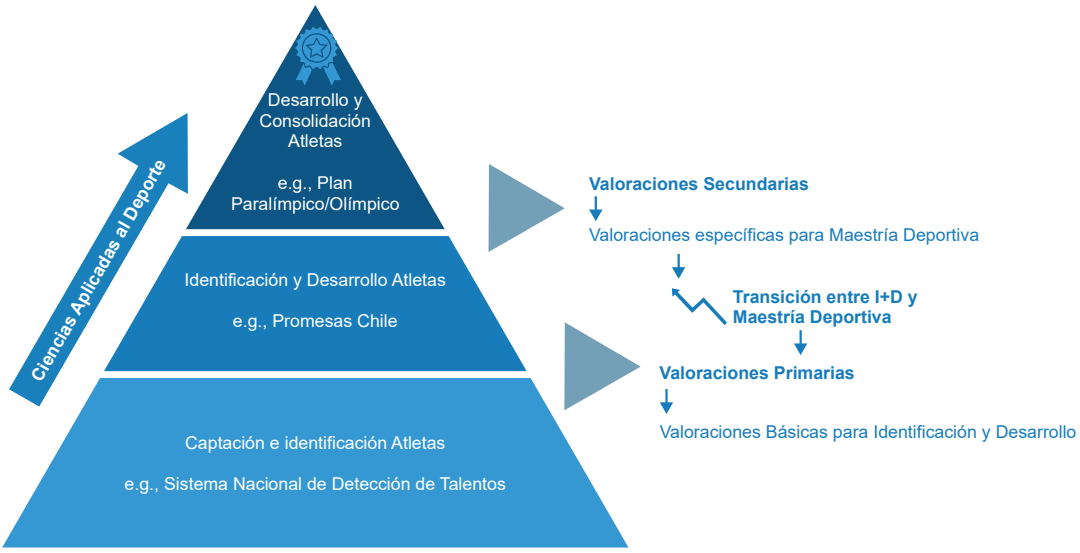



**Figura 8.** Valoraciones primarias y secundarias de la UCAD orientadas al alto rendimiento.

Además de apoyar este proceso a través del monitoreo sistemático con valoraciones primarias y secundarias, las Ciencias Aplicadas al Deporte deben esforzarse en: (i) difundir y aplicar el conocimiento a través de la asesoría y apoyo del más alto nivel, con fuerte compromiso ético, valor teórico del deporte y gran experiencia en el mismo, (ii) estar a la vanguardia de la investigación científica internacional con relación a las ciencias del deporte, y (iii) proporcionar enseñanza y capacitación a atletas y entrenadores(as), así como a futuros profesionales vinculados en el proceso de preparación y competencia de los atletas. Las Ciencias Aplicadas al Deporte deben buscar contribuir constantemente de manera sustancial a la aplicación y creación de conocimientos que permita influenciar la identificación del talento, la práctica (e.g., monitoreo de cargas de entrenamiento) y el rendimiento deportivo. Dicha información puede mejorar directa o indirectamente el desarrollo y el rendimiento deportivo. En su quehacer debe incluir investigación aplicada, tecnología e innovación relevante para el desarrollo de un deporte en particular. Por último, cuando diferentes prácticas son igualmente efectivas, las Ciencias Aplicadas al Deporte cumplen un rol en identificar aquellas que son más seguras, más tiempo eficiente, y más "atractivas" para los/las atletas[19]. A raíz de lo expuesto anteriormente, el

propósito y los objetivos específicos de la Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte (UCAD)-IND/MINDEP en el Alto Rendimiento son:

# Propósito de la UCAD

La Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte (UCAD) tiene como propósito ser un área de asesoría, monitoreo y apoyo de excelencia al deporte de alto rendimiento, con el objetivo de posicionar a Chile en la alta competencia internacional. La Filosofía de su funcionamiento está orientada en valores que se basan en el rendimiento deportivo, centrada en la persona, y guiada por la ciencia.

## Objetivos Específicos de la UCAD

- Apoyar el sistema de identificación y desarrollo del talento deportivo.
- Proporcionar apoyo científico-práctico para la mantención/mejora de la salud y bienestar de los/las atletas.
- Entregar información válida y confiable para optimizar los programas de entrenamiento.
- Proporcionar herramientas prácticas y apoyo científico para maximizar el rendimiento competitivo.
- Promover y generar investigación aplicada, innovación y tecnología que proporcione soluciones al alto rendimiento.
- Apoyar y fomentar el proceso de perfeccionamiento en Ciencias Aplicadas al Deporte de todos los actores que participan directamente en el proceso de preparación y competencia de nuestros atletas.

## Valores UCAD

Los valores que sustentan la filosofía de funcionamiento de la UCAD se ven representados en la **Tabla 3**.

**Tabla 3.** Valores UCAD.

| | |
|---|---|
| Excelencia | Buscar el más alto estándar internacional; fomentar constantemente el pensamiento crítico; generar eficiencia en los procesos. |
| Colaboración | Estimular la integración intencional; estar alineado a prioridades; buscar la excelencia colectiva. |
| Centralidad (personas) | Promover la cultura inclusiva; cumplir con las expectativas; estimular la mejora personal y profesional de manera continua. |
| Integridad | Generar confianza; ser abierto y honesto; ser transparente. |
| Innovación | Estar un paso adelante; generar cultura de búsqueda constante; fomentar ideas y proyectos guiados-por-evidencia. |

El propósito y los objetivos específicos de la UCAD son sustentados por **Pilares Estratégicos** (**Figura 9**), los cuales guían nuestras acciones para cumplir con dichos objetivos específicos. Los Pilares Estratégicos se definen a continuación:

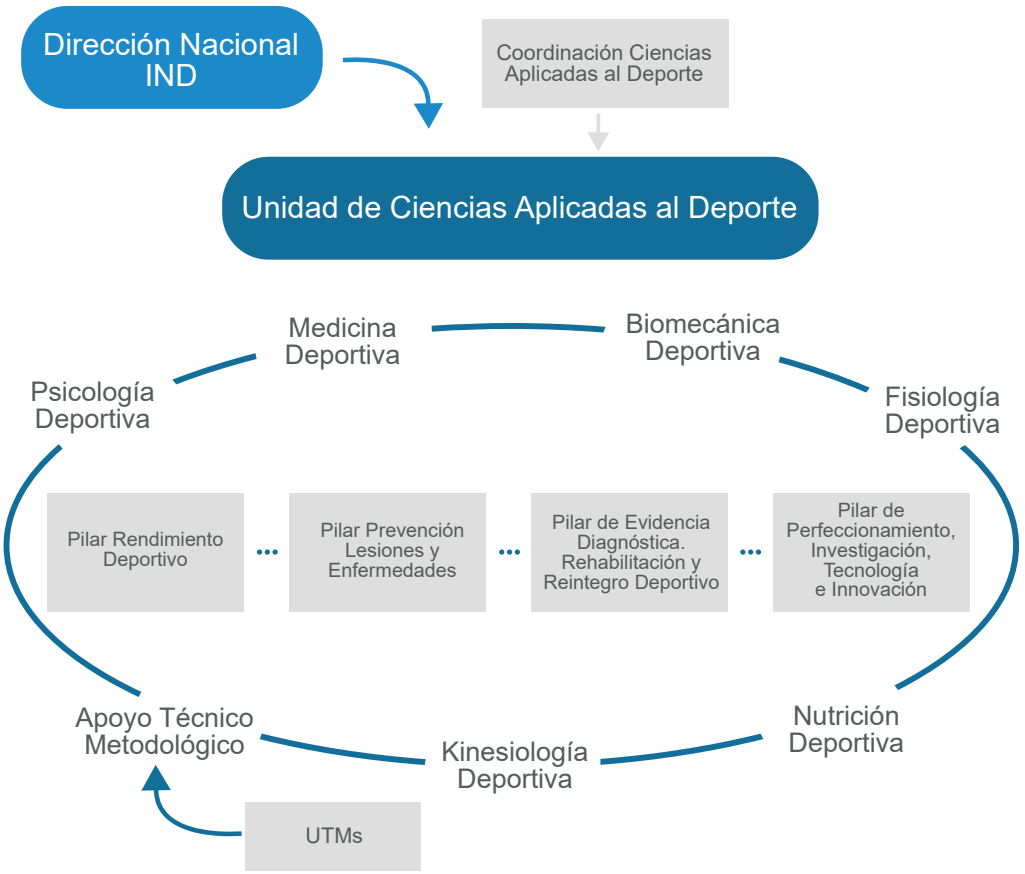


**Figura 9**. Áreas y Pilares estratégicos que guían el funcionamiento de la UCAD. UTMs: unidades técnicas metodológicas IND. Nota: las UTMs no son parte de la UCAD y se insertan como apoyo al proceso inter/transdisciplinario de monitoreo.

## Pilar de Rendimiento Deportivo

Pilar relacionado a actividades y procedimientos sistemáticos que permiten monitorear y valorar el rendimiento deportivo de los atletas en todo el proceso de preparación y competencia.

## Pilar de Prevención de Lesiones y Enfermedades

Pilar vinculado a actividades y procedimientos sistemáticos que permiten monitorear, valorar y actuar sobre la presencia de factores de riesgo asociados al deporte practicado, generando una retroalimentación que permita tomar las medidas correctivas necesarias para prevenir lesiones y/o enfermedades durante el proceso de preparación y competencia.

## Pilar de Evidencia Diagnóstica, Rehabilitación y Reintegro Deportivo

Pilar concerniente a monitoreo y valoraciones que buscan pesquisar las causas que expliquen la persistencia de una lesión, un cuadro doloroso o una enfermedad, lo cual impide el normal desempeño deportivo. Esto permite mejorar los tratamientos y el monitoreo de los cambios inducidos por diferentes intervenciones realizadas durante el proceso de rehabilitación y reintegro deportivo del atleta. Este Pilar se encuentra en desarrollo por lo que en esta versión de los Lineamientos sólo se dejarán algunos enunciados que permitirán guiar nuestras acciones mientras se define detalladamente nuestro quehacer diario de manera inter/transdisciplinaria.

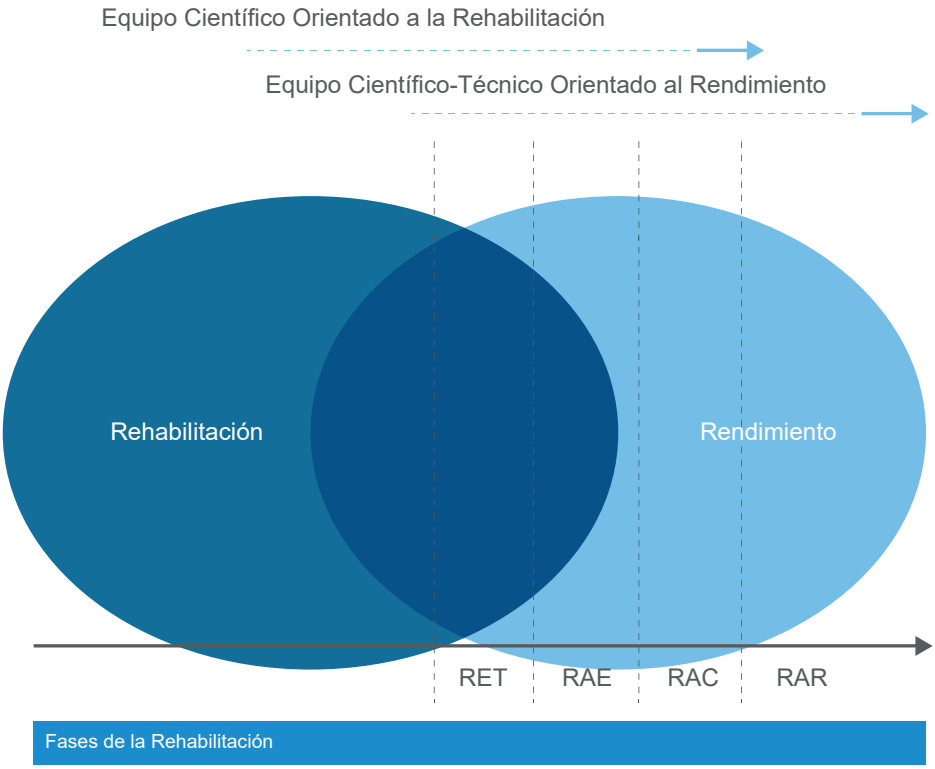



**Figura 10**. Modelo de recuperación funcional (retorno al deporte y al iento). Se destaca la transición de las fases de rehabilitación de la recuperación funcional (rehabilitación) al rendimiento final (Adaptado de Buckthorpe y cols.[20]). RET: rehabilitación en terreno; RAE: retorno al entrenamiento; RAC: retorno a la competencia o juego competitivo; RAR: retorno al rendimiento.

El modelo de recuperación funcional (retorno al deporte y al rendimiento) es un modelo complejo y tiene un enfoque biopsicosocial. Un resultado óptimo (i.e., un RAR acelerado con bajo riesgo de re-lesión) solo podría obtenerse mediante la adopción de un enfoque inter/transdisciplinario multifactorial, que requiere el trabajo en equipo entre diferentes profesionales de las áreas médicas, técnicas y de rendimiento. Cada paso debe llevarse a cabo en sucesión según la progresión basada en criterios y que cada paso se complete por completo. Para eso es importante monitorear sistemáticamente el rendimiento de los atletas, contando con valores que nos permitan tener criterios objetivos de diferentes variables de rendimiento. No hacerlo

puede resultar en una rehabilitación incompleta o fallida. Aparte del diagnóstico, los aspectos claves del Retorno al Deporte (RAD) del modelo incluyen las progresiones de (**Figura 10**): (i) rehabilitación en terreno, (ii) retorno al entrenamiento, (iii) retorno a la competencia o juego competitivo y (iv) retorno al rendimiento. La duración de cada etapa reflejará el tipo de lesión y el contexto específico de esa lesión. Es importante destacar que el RAR debe confirmarse como la capacidad de rendir al mismo nivel o a niveles superiores durante el deporte competitivo, por lo que solo puede confirmarse después de que un atleta haya "regresado a la competencia". Es probable que este enfoque esté fuera del alcance de la mayoría de los grandes equipos inter/transdisciplinarios y requiere la capacitación de personal individual especializado en rehabilitación en etapa avanzada. El proceso requiere una estrecha colaboración y comunicación entre el equipo de rehabilitación y el equipo de rendimiento (trabajo inter/transdisciplinario) quienes deben conocer y compartir profundamente sus habilidades y roles. Por último, existe un acuerdo sustancial en que es importante establecer criterios objetivos para una RAD seguro, y que debe adoptarse un protocolo de valoraciones extenso basado en el modelo biopsicosocial. El proceso de valoración debe estar integrado en la recuperación funcional para un correcto RAD y la prevención de nuevas lesiones. Las valoraciones que componen el protocolo deben investigar aspectos como (entre otros):

- Aspectos clínicos (dolor, hinchazón, amplitud de movimiento).
- Aspectos funcionales (fuerza máxima y explosiva, composición corporal, entre otros).
- Aspectos biomecánicos (pruebas de análisis de movimiento).
- Aspectos psicológicos (miedo a volver a lesionarse, actitudes psicológicas).
- Aspectos específico del deporte (capacidad para soportar volúmenes e intensidades de trabajo en el entrenamiento, valoración fisiológica específica del deporte).

En versiones futuras, se desarrollará este Pilar fundamental que nos permitirá poder apoyar de manera inter/transdisciplinaria el proceso de diagnóstico y RAD de nuestros atletas de alto rendimiento.

## Pilar de Perfeccionamiento, Investigación, Tecnología e Innovación

Al ser este un Pilar Estratégico transversal a todas las Áreas de la UCAD, se desarrollará en este capítulo con el objetivo de entregar las directrices generales, y así, sentar las bases que orientan nuestras acciones en este Pilar tan importante para el desarrollo del deporte de alto rendimiento:

### *Perfeccionamiento*

Este componente del Pilar se compone de actividades organizadas curricularmente que buscan la entrega de conocimientos, destrezas y/o actitudes propias de las Ciencias Aplicada al Deporte, a través de procedimientos pedagógicos orientados a profesionales, técnicos, entrenadores o atletas que se relacionen directamente con el rendimiento y/o con la práctica deportiva.

El deporte de rendimiento, a través de las Ciencias Aplicadas al Deporte, tiene como propósito implícito la mejora permanente de los planes o sistemas técnico-científicos que acompañan el proceso de preparación, progresión y competencia de los atletas para el logro de marcas proyectadas. Estas mejoras de las marcas a través de los procesos científicos demuestran una de las temáticas más relevantes en ciencia: "atenerse a los hechos y que se les respete" [21]. Es decir, en ningún momento y bajo ninguna circunstancia se deben falsificar o adulterar los registros o valores encontrados en distintas valoraciones porque sean molestos o estén contrarios a las convicciones propias[22], lo cual permite diferenciarse cualitativamente del conocimiento común o empírico. Un entrenador quizás sea capaz de determinar si un atleta tiene algún futuro en el deporte elegido o no. Tal vez, inclusive, realice esta predicción con acierto. Realmente se basa en su experiencia y ésta puede haberle mostrado muchas veces como un niño, con determinadas características antropológicas o técnicas, puede desarrollarse y ser un campeón. Sin embargo, este es un conocimiento empírico, el conocimiento científico debe ir mas allá de las apariencias. Debe

encontrar cuáles son, con exactitud o con la mayor precisión posible, las características que permiten la predicción. Debe desentrañar cuáles son las relaciones esenciales necesarias, entre estas características y entre ellas y el éxito deportivo. La ciencia encontrará, incluso, elementos no directamente observables que expliquen el desarrollo deportivo: una determinada capacidad vital, cierta especificidad en los procesos nerviosos, distintos niveles de fuerza, control de asimetrías, entre otros[23]. Para contribuir en la formación y perfeccionamiento de un científico se requiere de un largo y continuo proceso de educación, que además de necesitar una enseñanza integral, implica un costoso proceso de formación especializada. En este proceso desempeña un rol preponderante la tradición científica del país, que significa, entre otras cosas, la posesión de un personal capaz de participar en la formación de las nuevas generaciones de científicos[23]. Es por estos motivos que las mejoras de los procesos que acompañan al atleta requieren del traspaso de formación científica en las Ciencias Aplicadas al Deporte para entregar en los procesos deportivos los rasgos característicos de cualquier ciencia que se valore como tal: teorías propias, métodos propios y la capacidad de predecir acontecimientos[22]. En la Unidad de Ciencias Aplicadas al Deportes, el perfeccionamiento cumple con los pilares fundamentales de la tradición científica de un país, la posesión de científicos capaces de formar nuevas generaciones de científicos. El proceso de creación científica es eminentemente social, por cuanto no sólo la complejidad del trabajo implica la conformación de grupos humanos, cada vez más inter/transdisciplinarios, sino además porque las Ciencias Aplicadas al Deporte, como parte del acervo cultural del deporte, es posible sólo mediante la trasmisión de generación en generación de los logros alcanzados.

## Usuarios del perfeccionamiento

El perfeccionamiento presenta diversos usuarios, que desde sus lugares de trabajo logran impactar en el proceso deportivo, ya sea de manera directa o indirecta:

- Entrenadores e integrantes de los cuerpos técnicos de programas de IND-MINDEP, quienes son beneficiarios directos del sistema al ser receptores del perfeccionamiento.
- Científicos que aplican sus conocimiento al deporte y que son integrantes del IND-MINDEP en cualquiera de sus estamentos, sectores o ubicación geográfica, siendo beneficiarios directos del sistema y se perfeccionan para liderar el proceso de innovación y en particular el perfeccionamiento de los entrenadores.
- Profesionales que trabajen con atletas de alto rendimiento cuyas instituciones tengan convenio con el IND-MINDEP (nacionales e internacionales).
- Atletas de alto rendimiento, quienes son los beneficiarios indirectos del sistema a través de la mejora del proceso de entrenamiento.
- Personal técnico-administrativo del IND-MINDEP, quienes son beneficiarios indirectos y deben, conforme a los cambios reglamentarios y de procedimientos, apoyar la gestión e innovación.
- Profesionales que trabajen con atletas de alto rendimiento.

## Tipos de perfeccionamiento

La aplicación de la innovación en las formas de aprendizaje está orientada por el desarrollo de habilidades, destrezas y actitudes, las cuales requieren de un tratamiento sistémico. Los cambios que implican a nivel del proceso de enseñanza-aprendizaje en el entrenamiento van mucho más allá del lugar de entrenamiento y alcanzan a todo el sistema deportivo nacional. A nivel administrativo, los cambios se traducen generalmente en ajustes reglamentarios o cambios de procedimientos, pero a medida que se penetra en el nivel científico, se requiere una redefinición del mapa conceptual de los entrenadores, a fin de que no solamente acepten el nuevo paradigma, sino a que además lo hagan parte de sus creencias. En consecuencia, el perfeccionamiento del sistema radica fundamentalmente en el perfeccionamiento de los entrenadores y futuros científicos que aplican sus conocimiento en el deporte, haciendo que estos últimos sean de vital importancia para el éxito de un proceso de innovación. La presente propuesta se hace cargo

de estos factores claves a través de un proceso de perfeccionamiento focalizado acorde al perfil de cada entrenador o científico orientado al deporte [24]. El perfeccionamiento se establecerá en tres fases: (i) diagnóstico [reconocimiento del contexto y diagnóstico], (ii) planificación [definición de metas y plan de trabajo], y (iii) perfeccionamiento [socialización y aplicación]. Al completar este proceso, la Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte entregará una certificación del tiempo y perfeccionamiento alcanzado, reconociendo el esfuerzo de los participantes y la contribución a la carrera de los entrenadores o científicos del deporte[25]. Por tal motivo, y respetando las tres fases mencionadas anteriormente, se determinarán tres niveles de perfeccionamiento:

**Perfeccionamiento menor (básico):** actividades pedagógicamente organizadas que entregarán conocimientos y habilidades que se enmarcan con una estructura específica de alguna área de la UCAD en relación a una técnica de valoración, procedimiento y en un grupo de atletas especifico (entre otros). El tiempo estimado para este perfeccionamiento varía entre 1 y 2 semanas.

**Perfeccionamiento intermedio:** actividades pedagógicamente organizadas que entregarán conocimientos, habilidades y actitudes que se enmarcan con una estructura general de alguna área de la UCAD a través de un estudio de caso. El tiempo estimado para este perfeccionamiento varía entre 2 y 4 meses.

**Perfeccionamiento mayor (avanzado):** actividad pedagógicamente organizada que busca el desarrollo de conocimientos, habilidades y actitudes, que se enmarcan con una estructura total de alguna área de la UCAD a través de un estudio valorativo de distintas variables que den cuenta del rendimiento en un deporte y/o agrupación deportiva. El tiempo estimado para este perfeccionamiento es a convenir acorde a la complejidad de la actividad.

## *Investigación, Tecnología e Innovación*

Este componente del Pilar se compone de actividades guiadas por el método científico que contengan un valor teórico, metodológico y de aplicación práctica en el ámbito del deporte de alto rendimiento, y que culminen con productos de investigación, tecnología y/o innovación.

La investigación se define como el conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema con el resultado (o el objetivo) de ampliar su conocimiento[22]. La búsqueda de respuestas constituye la esencia de la actividad investigativa la que puede cumplir con dos fines fundamentales: 1) producir conocimientos y teorías (investigación básica o fundamental) y 2) resolver problemas prácticos (investigación aplicada)[23]. La investigación siempre tiene sus comienzos en una pregunta ante una situación o hecho dado, ¿por qué? ¿cómo? ¿cuándo? ¿dónde? o ¿cuáles? en donde el científico ejecuta una serie de actividades que, interrelacionadas en un todo, conforman el denominado "proceso de investigación" que implícitamente comprende: dinamismo, cambio y evolución.

Existen tres enfoques que sirven para estudiar cualquier tema, fenómeno o planteamiento. Por lo tanto, es importante entender todos ellos para intentar dar respuestas a las interrogantes en el deporte de alto rendimiento. Los tres enfoques son: el cuantitativo, el cualitativo y el mixto. Es importante mencionar que ningún enfoque es mejor que otro, sino que sólo es más apropiado para lograr el resultado u objetivo propuesto. Según el planteamiento del problema (lo que se quiere investigar y el tipo de fenómeno) y el contexto (conocimientos y creencias del científico, recursos disponibles, lugar y tiempo), se elige el enfoque más adecuado, teniendo en cuenta el paradigma que lo fundamenta y sin olvidar que los enfoques se entrelazan. Así, los tres enfoques utilizan procesos sistemáticos, reflexivos y empíricos para la generación de conocimiento, utilizando las siguientes estrategias[22]:

1. Observación y evaluación de fenómenos.
2. Establecimiento de suposiciones como consecuencia de la observación y evaluación.
3. Demostración del grado en que las suposiciones tienen o no fundamento o son ciertas en determinado contexto, mediante análisis y test.
4. Proponer nuevas observaciones y evaluaciones para consolidar, esclarecer o modificar las suposiciones; o incluso generar otras.

Las investigaciones se originan de ideas (**Figura 11**) o temas bien elaborados y son independientes del enfoque, constituyendo la génesis hasta que se plantee correctamente el problema de investigación.

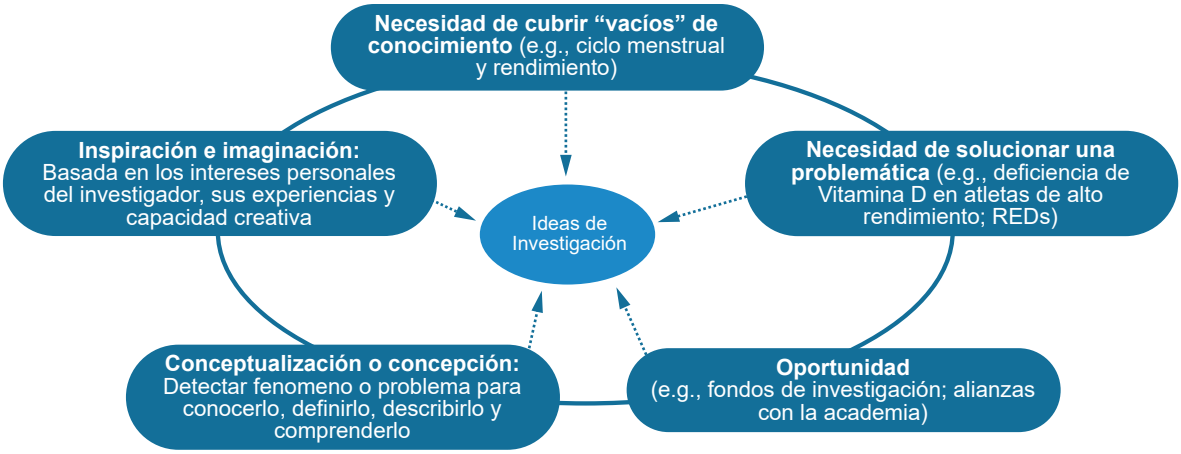



**Figura 11**. Motores de ideas en la investigación (Adaptado de Sampieri[22]).

La tecnología y la innovación cumplen un rol esencial en el desarrollo del deporte de alto rendimiento. La **tecnología** es la aplicación del conocimiento científico con fines prácticos, mediante el uso de medios, artefactos, dispositivos, métodos y materiales disponibles para los humanos para satisfacer una necesidad, realizar tareas específicas o resolver problemas[5]. La evolución de la tecnología y la información que puede proporcionar ha beneficiado a todos los campos imaginables, incluida la medicina, la biomecánica y la fisiología, disciplinas directamente vinculadas al conocimiento del deporte. Hoy en día existen dispositivos, prendas, parches y relojes capaces de medir la función

cardiorrespiratoria, los patrones de movimiento, la composición del sudor, el nivel de hidratación, la oxigenación de los tejidos, los niveles de glucosa y lactato y los patrones de sueño, entre otros. No obstante, los científicos del deporte y los profesionales involucrados en el deporte deben saber y comprender cómo seleccionar las tecnologías más relevantes e impactantes para su organización. No se trata de la tecnología en sí; se trata de cómo utilizar la tecnología adecuada, en el momento adecuado, de la manera correcta, y aplicar el conocimiento científico obtenido de esta tecnología con fines prácticos.

Por otro lado, la **innovación** está asociada con la tecnología, pero la tecnología es solo una forma de innovación. La innovación se puede definir como la introducción de algo nuevo, una idea o comportamiento en forma de tecnología, producto, servicio, estructura, sistema o proceso[5]. La tecnología, y el futuro de la innovación tecnológica, deben generar conocimiento científico para fines prácticos, y los artefactos, dispositivos, equipos o materiales destinados a este fin deben abordar las brechas de rendimiento para realizar tareas específicas o para resolver problemas. Los desarrollos tecnológicos innovadores en el deporte requieren una combinación de conocimientos de diferentes disciplinas y un esfuerzo de colaboración (también conocido como investigación interdisciplinaria) de especialistas, científicos del deporte, ingeniería y ciencias médicas y de los materiales. El proceso de innovación sigue una serie de etapas para generar una nueva innovación, como un nuevo producto o proceso para resolver un problema, o adoptar una innovación existente (realizar actividades para promover el uso de la innovación existente). Las etapas son las siguientes:

**Conciencia**: Reconocer una necesidad e identificar una brecha en el conocimiento o el rendimiento. Un error potencial en esta fase es determinar la solución antes de identificar el problema de desempeño.

**Intereses (y valoración)**: Realizar investigaciones para desarrollar bases de conocimiento y crear o adoptar soluciones; identificar las innovaciones adecuadas (interés versus influencia).

**Prueba:** Investiga el producto. El período de prueba es cuando uno investiga el producto para poder responder varias preguntas: ¿Existe una ventaja competitiva potencial al usar este producto para el desarrollo del atleta o el desempeño organizacional o ambos? ¿Es practico? ¿Es positiva la relación costo-beneficio? Si las respuestas a esta cadena de preguntas son positivas, se puede pasar a la siguiente etapa.

**Adopción:** Proponer algunas innovaciones para su adopción; proporcionar justificaciones para las decisiones.

Las cuatro etapas del proceso de innovación son igualmente importantes. Sin embargo, es probable que con demasiada frecuencia no se preste suficiente atención a los primeros pasos; el proceso de implementación a menudo se presenta en base al último paso (adopción). Es fundamental tener un proceso sistemático de hacer preguntas, comparar respuestas y tomar decisiones informadas sobre qué hacer a continuación para mejorar las condiciones y el rendimiento. Una buena práctica es tener un sistema en el que las partes interesadas claves (es decir, una perspectiva interdisciplinaria) puedan evaluar las necesidades y deseos (es decir, interés versus influencia) de la organización. Tanto para objetivos a corto como a largo plazo, puede ser útil establecer una estrategia organizativa para analizar las tendencias deportivas, así como las tendencias en tecnología. **La Figura 12** describe las cuatro categorías en una evaluación de las necesidades de innovación.

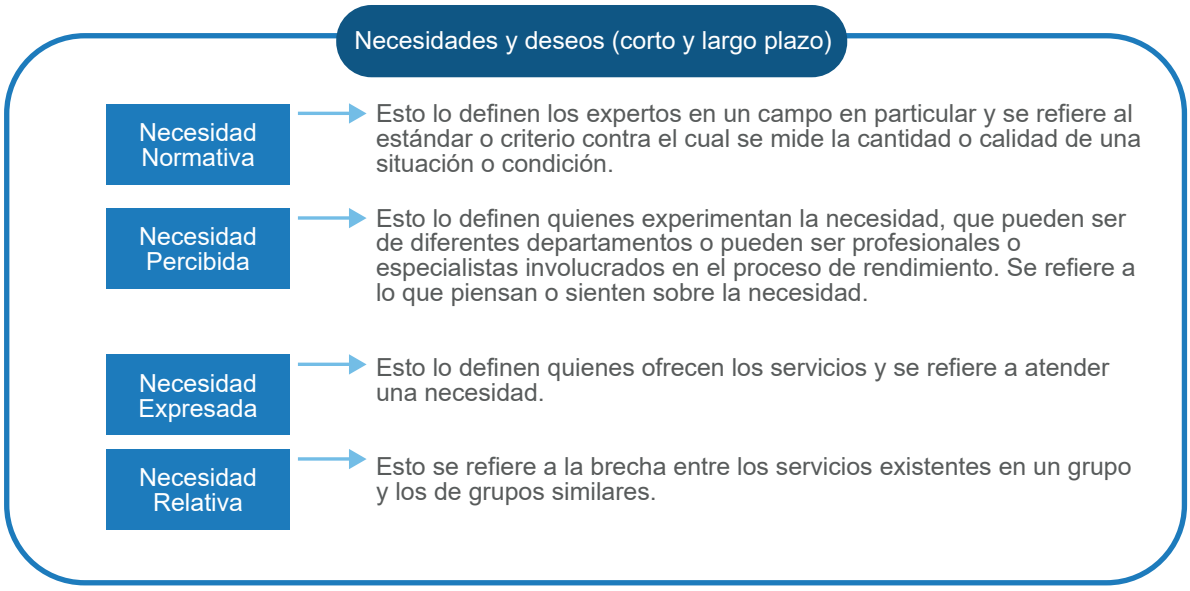


**Figura 12**. Valoración de necesidades en el proceso de innovación (Adaptado de French y cols.[5]).

El método científico es un proceso de preguntas, cambios, desafíos y mejoras constantes que tiene el poder de crear una infinidad de productos y otros avances, incluida la tecnología y la innovación. El papel del científico del deporte en el proceso científico es asegurar la implementación de la tecnología utilizando apoyo guiado en evidencia5, a través de los componentes fundamentales de la metodología científica y el pensamiento crítico visualizados en la **Tabla 4**[22].

**Tabla 4**. Etapas fundamentales de investigación de los procesos cuantitativo y cualitativo.

| Enfoque Cuantitativo | Procesos fundamentales del proceso general de investigación | Enfoque Cualitativo |
|---|---|---|
| Específico, acotado, centrado en variables medibles u observables. Orientado a describir, relacionar, predecir y explicar. | Planteamiento del problema | Abierto, emergente y se enfoca a medida que se desarrolla el proceso. Orientado a explorar, describir y comprender. |
| Direcciona el proceso y justifica el planteamiento y la necesidad del estudio. Se guía por variables de búsqueda incluidas en el planteamiento. | Revisión de la literatura | Contextualiza el proceso y justifica el planteamiento y la necesidad del estudio. Se guía por conceptos de búsqueda incluidos en el planteamiento y la experiencia inicial con el fenómeno. |
| Se establecen antes de recolectar los datos y se pretende probarlas (aceptar-rechazar). | Hipótesis | Emergentes (se generan y cobran sentido durante el estudio). |
| Preestablecidos y se implementan tal como se planearon. | Diseños | Emergentes; son abordajes que se aplican de acuerdo a circunstancias. |
| Depende de qué tan grande y heterogénea sea la población (nº representativo de casos). Se determina a partir de fórmulas y estimaciones de probabilidad. | Selección de la muestra | Depende de la comprensión del fenómeno del estudio (casos suficientes y pertinentes). Se determina acorde al contexto y necesidades. |
| Instrumentos predeterminados y estandarizados. Antes del análisis se recolectan todos los datos numéricos. | Recolección de los datos | Instrumentos que se van afinando y uniformando paulatinamente. Está orientada a entregar mayor entendimiento de los significados y experiencias de las personas. |

| | | |
|---|---|---|
| Estadístico sobre una matriz. Los datos encajan en categorías predeterminadas. Descripción de tendencias, contraste de grupos y relación entre variables. | Análisis de los datos | Análisis temático y de narrativas usando una base de datos. Se generan categorías que se describen, ilustran y relacionan para proporcionar significados profundos. |
| Distribuciones de variables, coeficientes, tablas y figuras que relacionan variables, así como modelos matemáticos y estadísticos. | Presentación de resultados | Categorías, temas y patrones; tablas y figuras que asocian categorías, materiales simbólicos y modelos relaciónales entre conceptos para comprender fenómenos. |
| Basado en un estilo de publicaciones, estándar, tono impersonal, objetivo y sin sesgos. | Reporte de resultados | Basado en un estilo de publicaciones, emergentes, flexible, tono personal, incluye tendencias del investigador, pero clarificadas. |

## Enfoque Cuantitativo

Este enfoque representa un conjunto de procesos organizado de manera secuencial para comprobar ciertas suposiciones. Cada fase precede a la siguiente y no se pueden eludir pasos. Parte de una idea que se delimita, se generan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o perspectiva teórica. De las preguntas se derivan las **hipótesis** y determinan y definen las **variables**. Se genera un plan para probar las hipótesis (diseño), se seleccionan casos o unidades para medir en estas las variables en un contexto específico (lugar y tiempo), se analizan y vinculan las mediciones obtenidas (utilizando métodos estadísticos), y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis (**Figura 13**).

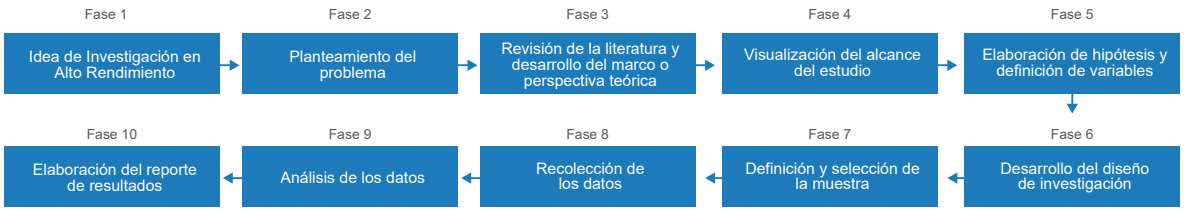



**Figura 13**. Pasos de la investigación con el enfoque cuantitativo (Adaptado de Hernández Sampieri y cols. [22]).

## Enfoque Cualitativo

Este enfoque se guía por áreas o temas significativos de investigación. No obstante, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de los datos (como en la mayoría de los estudios cuantitativos), los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos. Con frecuencia, estas actividades sirven, primero, para descubrir cuáles son las preguntas de investigación más importantes; y después, para perfeccionarlas y responderlas. La acción indagatoria se mueve de manera dinámica en ambos sentidos: entre los hechos y su interpretación, y resulta un proceso más bien "circular" en el que la secuencia no siempre es la misma, pues varía con cada estudio. A continuación, intentamos representarlo en la **Figura 14**, pero cabe señalar que es simplemente eso, un intento, porque su complejidad y flexibilidad son mayores.

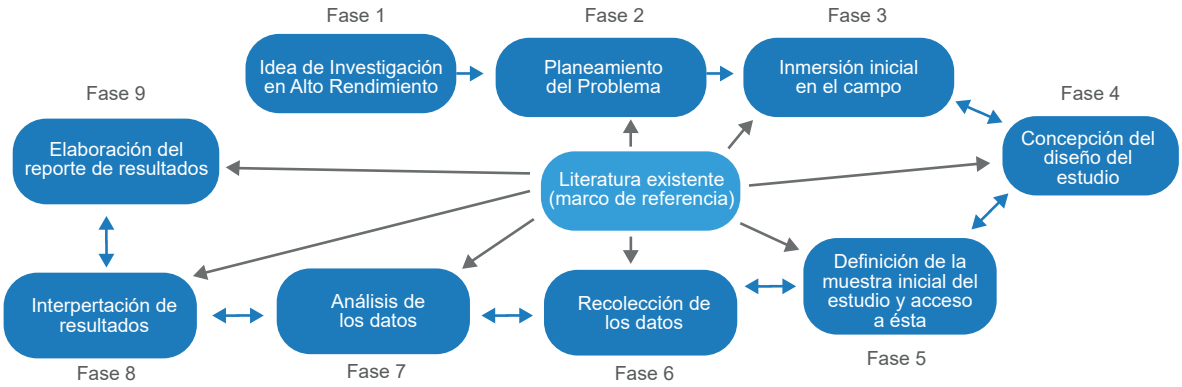



**Figura 14**. Pasos de la investigación con el enfoque cualitativo (Adaptado de Hernández Sampieri y cols. [22]).

## Enfoque Mixto

Este enfoque representa un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la

información recabada (meta-inferencias) y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio. Es la integración sistemática de los métodos cuantitativo y cualitativo en un solo estudio con el fin de obtener una "fotografía" más completa del fenómeno, en donde éstos pueden ser combinados de tal manera que las aproximaciones cuantitativa y cualitativa conserven sus estructuras y procedimientos originales ("forma pura de los métodos mixtos"); o bien, pueden ser adaptados, alterados o sintetizados para efectuar la investigación y lidiar con los costos del estudio ("forma modificada de los métodos mixtos") (**Figura 15**). En resumen, los métodos mixtos utilizan evidencia de datos numéricos, verbales, textuales, visuales, simbólicos y de otras clases para entender problemas en las ciencias[22].

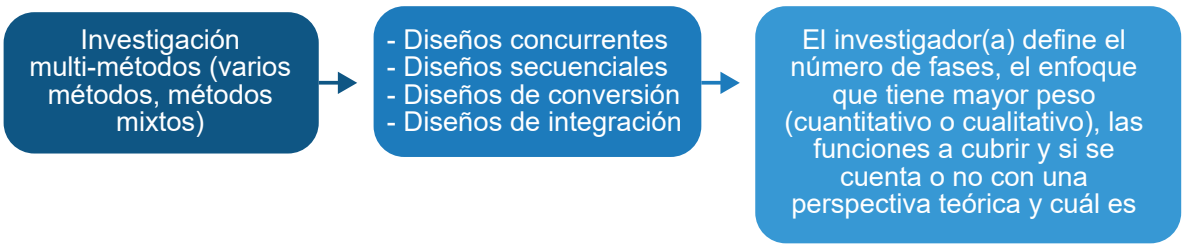



**Figura 15**. Diseños de la investigación con el enfoque mixto (Adaptado de Hernández Sampieri y cols. [22]).

Para escoger el diseño mixto apropiado es necesario que el investigador responda a las siguientes preguntas y reflexione sobre las respuestas:

- ¿Qué clase de datos tienen prioridad, los cuantitativos, los cualitativos o ambos por igual?
- ¿Qué resulta más apropiado para el estudio en particular: recolectar los datos cuantitativos y cualitativos de manera simultánea (al mismo tiempo) o secuencial (un tipo de datos primero y luego el otro)?
- ¿Cuál es el propósito central de la integración de los datos cuantitativos y cualitativos: triangulación, complementación, exploración o explicación?

- ¿En qué parte del proceso, fase o nivel es más conveniente que se inicie y desarrolle la estrategia mixta? Por ejemplo: desde o durante el planteamiento del problema, en el diseño de investigación, recolección de los datos, análisis de los datos, interpretación de resultados o elaboración del reporte de resultados.

En resumen, este Pilar de Perfeccionamiento, Investigación, Tecnología e Innovación nos permitirá generar conocimiento que ayudará a mejorar nuestros propios procesos internos, así como también entregar y generar conocimientos relevantes para entrenadores y cuerpos técnicos como son criterios de rendimiento para el *profiling* o el *benchmarking*, para aplicar de manera más individualizada las cargas de entrenamiento o para mejorar el proceso de monitoreo sistemático en nuestros atletas.

# Implementación del Monitoreo Inter/Transdisciplinario en el Alto Rendimiento

Los **criterios de rendimiento** se refieren al establecimiento de niveles normativos de rendimiento. La definición clara de estos criterios proporciona un punto de partida para la evaluación comparativa (*benchmarking*) y la elaboración de perfiles (*profiling*). Los datos normativos se pueden generar a partir de los resultados de las valoraciones primarias y secundarias de factores físicos, fisiológicos y otros relacionados con el rendimiento. Un buen punto de partida es obtener datos de la literatura publicada. Sin embargo, es necesario considerar el contexto de los criterios de rendimiento ya que no siempre se tiene la certeza de las condiciones en las que se generó la información. Idealmente, estos datos deben obtenerse de una población similar para garantizar que las características del grupo que se está probando sean similares. Deben tenerse en cuenta el equipo y los métodos de análisis que se utilizaron para recopilar los datos. Pueden surgir problemas cuando se utilizan criterios de rendimiento de otras fuentes para la

comparación, ya que la mayoría de las variables recolectadas en los test no serán válidas si se utilizaron equipos o métodos de análisis diferentes. Se pueden seguir una serie de pasos para desarrollar criterios de rendimiento[5,18,26]:

- Completar un análisis de las necesidades del deporte para identificar los factores críticos del rendimiento.
- Realizar una búsqueda bibliográfica para identificar los criterios de rendimiento anteriores que puedan haber sido publicadas para el deporte.
- Idealmente, los científicos del deporte deben buscar establecer sus propias criterios de rendimiento internas para garantizar la validez de los datos.
- Los criterios de rendimiento deben considerar la maduración y el desarrollo a largo plazo cuando se trabaja con atletas jóvenes.
- Se requieren tamaños de muestra adecuados para determinar los criterios de rendimiento.
- Una vez que se completan las valoraciones, los resultados se pueden comparar con criterios o puntos de referencia.

Las valoraciones y la recopilación de datos son dos de los aspectos más críticos del monitoreo de los atletas. Hay muchas valoraciones disponibles para este propósito. No obstante, se deben tener en cuenta los siguientes factores para elegir adecuadamente los test para la elaboración de perfiles de atletas y la valoración comparativa[5] (algunos tópicos de desarrollan en el apartado **"Características Estadísticas Importantes")**:

- Test estandarizados.
- Validez, confiabilidad y sensibilidad al cambio.
- Aplicabilidad y facilidad de uso.
- Frecuencia de la valoración.
- Capacidad para realizar valoraciones con muchos atletas si es necesario.
- Efecto del aprendizaje asociado con el test.

- Apreciación del error dentro del test.
- Efectividad de la información de las valoraciones para mejorar el rendimiento del atleta.

Para el logro de nuestro propósito como UCAD, se establecen ciertos procedimientos que permitirán monitorear, asesorar y apoyar de una manera adecuada, aumentando así las probabilidades de lograr los objetivos deportivos propuestos. Los pasos generales de este procedimiento se describen a continuación (**Figura 16**)[8]:

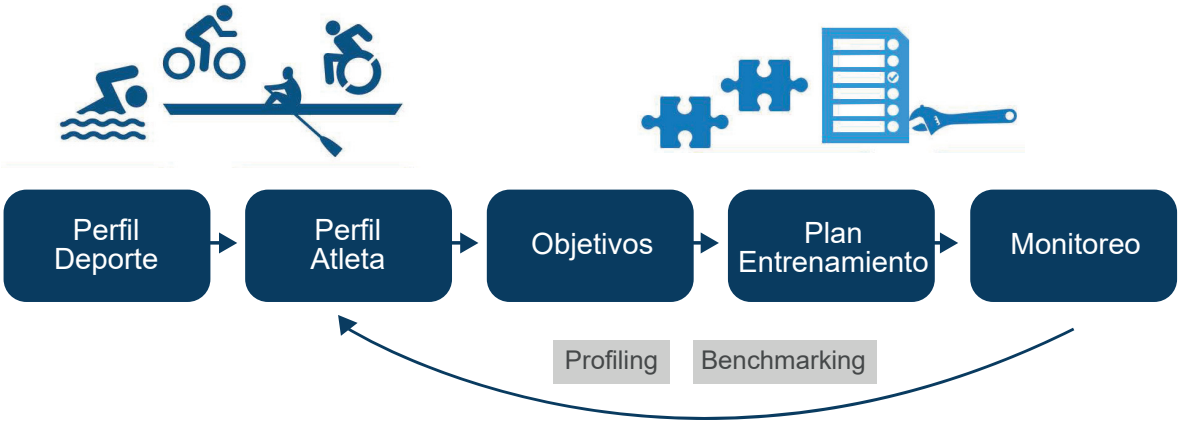



**Figura 16**. Pasos requeridos para aumentar las probabilidades de alcanzar el logro deportivo.

**Perfil del Deporte:** es de vital importancia tener una comprensión exhaustiva y detallada de las demandas del deporte y los indicadores clave de rendimiento. Las variables más importantes a tener en cuenta y que deben ser identificadas y desarrolladas como primer paso son: (i) el calendario y las ubicaciones de la(s) competencia(s) más relevante(s), (ii) los oponentes, (iii) las demandas técnico-tácticas, (iv) el estilo de juego/competencia, (v) lo que se requiere para ganar y (vi) las características físicas que sustentan el rendimiento.

Si bien en nuestro sistema de Alto Rendimiento las Unidades Técnico-Metodológicas utilizan una taxonomía de clasificación de deportes que les sirve para su organización interna, la UCAD utiliza diferentes taxonomías, la cual nos permite realizar un análisis más

detallado y específico para cada área, guiando de mejor manera las acciones a seguir en el apoyo a nuestros atletas (**Figura 17**)[27].

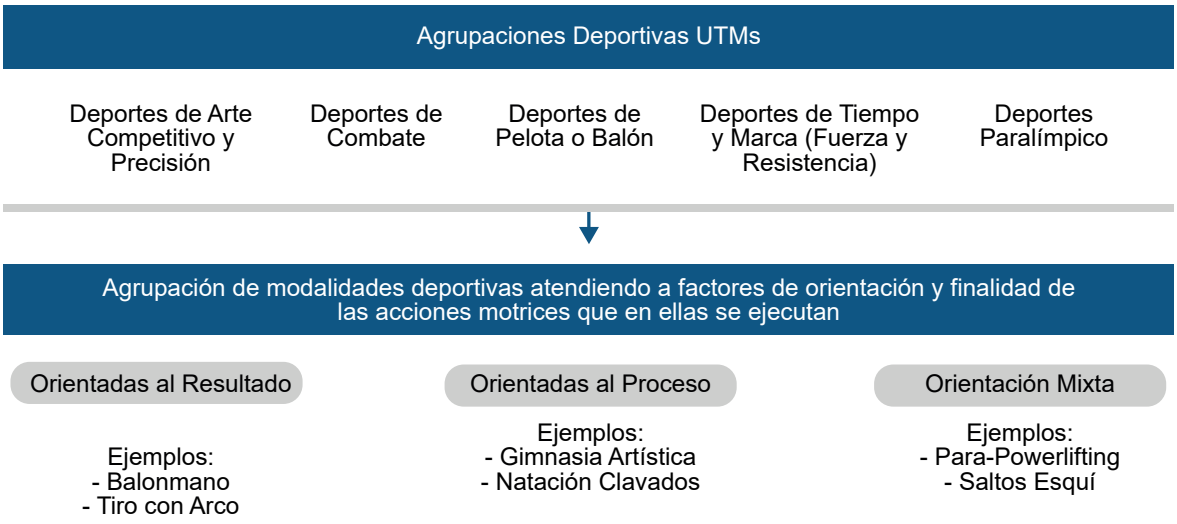



**Figura 17**. Ejemplo de agrupaciones deportivas utilizadas para la selección de estrategias de apoyo UCAD.

**Perfil del Atleta:** una vez que se comprenden las demandas competitivas y los indicadores clave de rendimiento del deporte, es esencial determinar qué características físicas tiene un atleta y cuáles son sus fortalezas y debilidades con respecto a este perfil competitivo. Esta información ayudará a determinar qué cualidades respaldan y qué cualidades limitan el rendimiento.

**Objetivos:** con el conocimiento del calendario competitivo, las demandas del deporte y las necesidades del atleta, es posible determinar objetivos claros para el desarrollo físico y holístico del atleta. Los objetivos deben ser específicos, responsables y basados en el tiempo. ¿Qué necesita precisamente lograr el atleta y cuándo debe lograrlo?

**Programa de Entrenamiento:** una vez que sepamos qué necesita hacer el atleta y cuándo debe hacerse, comenzarán a surgir oportunidades de entrenamiento dentro del calendario competitivo. Así, se pueden tomar

decisiones sobre la carga de los diferentes entrenamientos, basados en el conocimiento de las estrategias de periodización y el marco de tiempo de las adaptaciones para las cualidades físicas.

**Monitoreo:** para tomar decisiones informadas con respecto a la efectividad de la estrategia de entrenamiento elegida, se debe monitorear el entrenamiento completado y la respuesta individual de los atletas. La información obtenida del monitoreo puede conducir a ajustes en tiempo real de las estrategias de entrenamiento.

El detalle de los pasos requeridos para los procedimientos relacionados al monitoreo inter/transdisciplinaria del rendimiento deportivo son:

## I. Determinación del Perfil del Deporte:

- **Caracterización Pedagógica:** grupo de deporte; modalidad de deporte; eventos principales; demandas técnico-tácticas.
- **Caracterización de Demandas y Características Físicas:** principales capacidades motoras; componentes y valores fisiológicos; principales valores en composición corporal, biotipo y proporcionalidad en el deporte.
- **Caracterización Biomecánica:** cinética y cinemática predominante; técnica deportiva.
- **Caracterización Fisiológica:** aspectos fisiológicos determinantes del rendimiento.
- **Caracterización Psicológica:** elementos psicológicos predominantes.
- **Caracterización Nutricional:** descripción general de demandas energéticas, de hidratación y suplementación.
- **Caracterización Médico-Deportiva:** descripción de principales lesiones prevalentes; descripción general de mecanismos de lesión prevalente; descripción general de estrategias de prevención de lesiones y enfermedades acorde al deporte.

## II. Determinación del Perfil del Atleta:

Determinar valoraciones que permitan establecer las fortalezas y debilidades físicas del atleta acorde al Perfil del Deporte. Para una correcta interpretación de los resultados obtenidos en el Perfil del Atleta, se debe contar con la siguiente información, la cual debe ser entregada por los Entrenadores y apoyadas desde el punto de vista Técnico-Metodológico por los Metodólogos de las diferentes Unidades Técnico-Metodológicas (UTMs) del IND:

- Planificación anual y objetivos deportivos (competencias fundamentales). Además, identificación del periodo de entrenamiento y micro/meso ciclo en el cual se están realizando las valoraciones.
- Estrategias utilizadas para manipular las cargas del entrenamiento.
- Estrategias utilizadas para manipular las unidades de entrenamiento.

Una vez confeccionado el documento **Perfil del Deporte**, se debe determinar qué cualidades respaldan y qué cualidades limitan el rendimiento.

## III.Determinación de Objetivos:

Establecer objetivos para el desarrollo físico-técnico-táctico del atleta acorde al calendario competitivo, las demandas del deporte y las necesidades del atleta. Esto permitirá al entrenador y staff técnico ajustar el plan de entrenamiento de manera individualizada a cada atleta.

## IV.Determinación de Monitoreo acorde a Plan de Entrenamiento:

Establecer herramientas de monitoreo en terreno que permita asesorar y apoyar el proceso de entrenamiento, entregando retroalimentación en

tiempo real. Esto se hace en función de las estrategias de periodización y el marco de tiempo de las adaptaciones para las cualidades físicas (sociabilización del macrociclo, mesociclos y microciclos). Este proceso será llevado a cabo por el equipo Científico-Técnico, el cual es conformado por profesionales de la UCAD y del equipo técnico que apoya al atleta/deporte:

**Coordinador(a) de la Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte (o símil que esté a cargo de la UCAD).**

**Profesionales de la Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte:**

- Médico(a) Deportivo.
- Biomecánico(a) Deportivo.
- Fisiólogo(a) Deportivo.
- Nutricionista Deportivo.
- Psicólogo(a) Deportivo.
- Kinesiólogo(a) Deportivo.
- Masoterapeuta Deportivo.

**Staff Técnico:**

- Entrenador(a) (y/o Head Coach).
- Área Técnica-Metodológica (IND y Federativo).
- Preparador Físico/otros.

Las necesidades específicas de cada área de la UCAD dependerán de la disciplina deportiva en cuestión ya que no todos los deportes requieren en la misma magnitud del apoyo de las áreas que conforman a la UCAD.

# Interpretación y Entrega de Resultados en Ciencias Aplicadas al Deporte

El monitoreo de atletas de alto rendimiento es un componente relevante en el proceso de preparación y competencia de todos los deportes. No obstante, muchas veces existe una débil conexión entre la adquisición de datos, la investigación en ciencias del deporte y la aplicación de este

conocimiento en la práctica y la competencia deportiva[28]. Para el staff técnico y los atletas, lo más relevante es resultado deportivo (outcome), lo que no siempre es sencillo de aterrizar con las Ciencias Aplicadas al Deporte ya que el rendimiento es multifactorial, siendo esto más evidente en deportes colectivos como el balonmano, el hockey césped, el fútbol o el rugby. Una de las razones que subyace en este problema es el mal uso de las estadísticas en el monitoreo y la investigación, lo que a menudo lleva a conclusiones erróneas y crea confusión en los clubes o federaciones que esperan beneficios concretos en sus atletas. En otras palabras, un diseño y análisis inadecuado del monitoreo y/o de la investigación, más la falta de aplicación práctica, a veces mantiene alejada del terreno a las Ciencias Aplicadas al Deporte. Para poder corregir este problema, al menos en parte, el apoyo de las Ciencias Aplicadas al Deporte debe considerar los siguientes factores (**Figura 18**)[7,28]:

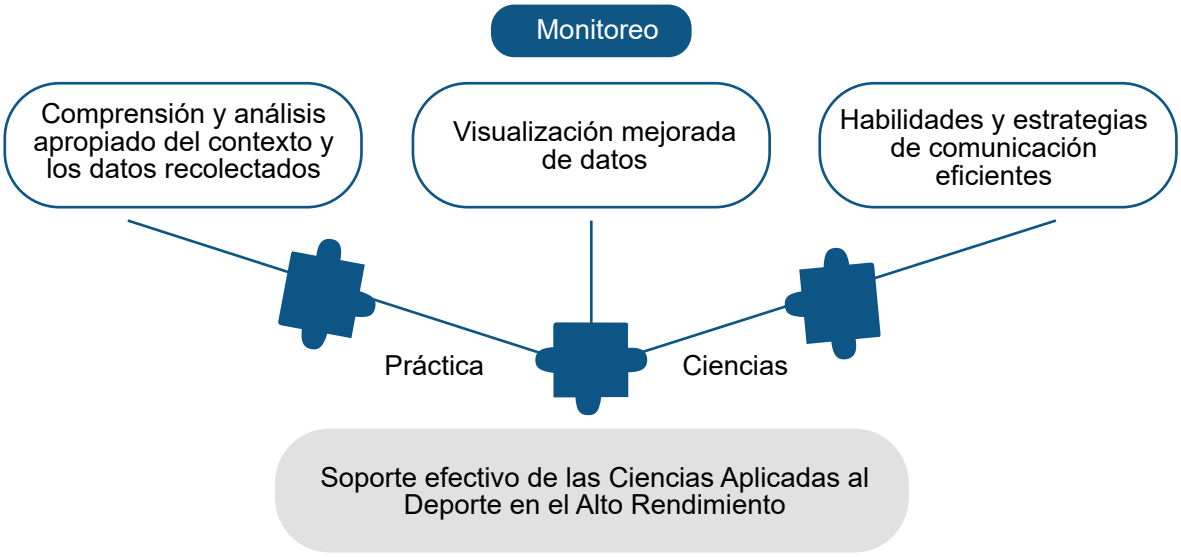



**Figura 18**. Factores a considerar para mejorar el soporte de la Ciencias Aplicadas al Deporte en el alto rendimiento (Adaptado de McGuigan 2017[7] - Laursen y Buchheit 2019[18]).

## I. Comprensión y Análisis Apropiado del Contexto y de los Datos Recolectados (Utilización e Interpretación de Métricas y Estadística):

Algunas interrogantes a contestar son: ¿qué tan importante es el cambio observado (magnitud)? ¿qué tan confiable es el cambio observado? La elección de las variables a recolectar y analizar debe suponer validez, confiabilidad y utilidad práctica en las respuestas a las interrogantes del deporte, entrenadores, staff técnico y atletas. No poder controlar eficazmente muchas variables dificulta la interpretación de los datos, por lo que el equipo Científico-Técnico debe identificar las variables claves que determinan el rendimiento deportivo con el objetivo de recolectar y analizar sólo lo necesario. La comprensión de los efectos y las magnitudes de ellos sobre los atletas resalta la necesidad de utilizar enfoques de análisis que sean más fáciles de interpretar en términos prácticos [29-31].

## II. Utilización de Informes Amigables y Eficientes en la Entrega de Información:

La información debe ser entregada a través de una presentación / visualización mejorada de datos. Esto debe reunir características tales como la correcta decisión sobre qué variables se analizarán, y cómo se entregará esa información (e.g., análisis grupal, individual, comparativo, entre otros). En términos sencillos, un gráfico o una tabla debiera explicar por si solo los datos que contiene[32,33].

## III. Desarrollar Habilidades de Comunicación Adecuadas y una Correcta Actitud Personal para Entregar de Manera Eficiente Datos e Informes a Staff Técnico y Atletas.

Este factor es muy importante en el proceso de entrenamiento. Muchas veces la falta de capacitación en esta área específica no permite una

transferencia adecuada de la información. Al ser una habilidad adquirida y no entrenada en forma temprana en la academia, se necesita experiencia y altos estándares personales para su definición. Se pueden tener gráficos de resultados mejorados, pero se debe trabajar en cómo entregar esa información para que el mensaje llegue al destinatario final de manera adecuada.

## Características Estadísticas Importantes

Un programa de monitoreo sistemático en el deporte de alto rendimiento intenta cuantificar factores como la dosis de entrenamiento (también conocida como carga de entrenamiento, tanto externa como interna), otras variables del entrenamiento (e.g., estrategias de recuperación) y factores de estilo de vida (e.g., sueño, nutrición, estrés de la vida). Para esto, el equipo Científico-Técnico debe identificar cuáles son las variables claves del rendimiento, lo cual permitirá optimizar el proceso de entrenamiento y competencia (**Figura 19A**). Es importante recalcar que, para tener algún efecto positivo en un atleta, un programa de monitoreo debe tener el rendimiento como su consideración subyacente. Desde el punto de vista bioestadístico y de la investigación, la comprensión de las necesidades del deporte y de los atletas en todas sus dimensiones es clave para el diseño y el monitoreo del entrenamiento. Así, la selección de los test y herramientas, su validez, su confiabilidad, y la determinación del cambio mínimo sustancial (SWC, de *smallest worthwhile change*), son claves para poder realizar un monitoreo que permita establecer cambios relevantes en el rendimiento de los atletas, ya sea de manera individual o colectiva, apoyando la toma de decisiones del día a día (**Figura 19B**).

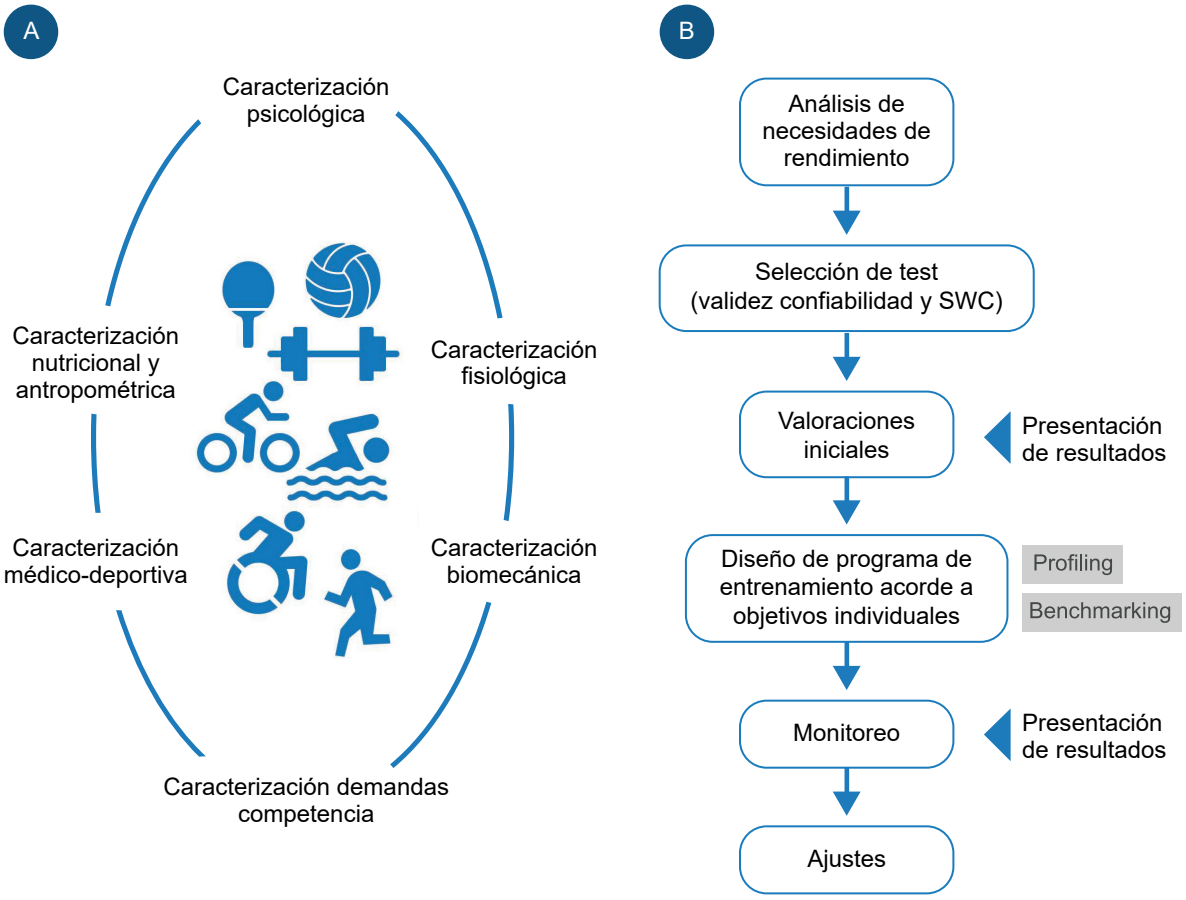



**Figura 19**. Determinación del perfil del deporte y su utilidad en el proceso de monitoreo del atleta (Adaptado de Joyce y Lewindon 2021)[8].

Como ya se ha mencionado anteriormente, el proceso de preparación y competencia de los atletas requiere de un monitoreo continuo, lo cual permite: (i) proporcionar información objetiva sobre el efecto de los programas de entrenamiento, (ii) valorar el impacto de una estrategia de intervención específica, (iii) ayudar con el proceso de toma de decisiones informadas sobre la manipulación del programa de entrenamiento, (iv) maximizar la comprensión del atleta y el entrenador sobre las necesidades del deporte, (v) utilizar efectivamente datos de nuevas tecnologías, y (vi) agregar información al creciente cuerpo de investigación sobre entrenamiento en atletas de élite[8]. Por lo tanto, las diferentes herramientas de monitoreo de atletas (ya sean test de laboratorio o de campo) deben ser confiables, válidas y sensibles a pequeños cambios en la variable de interés. A continuación, se definen algunos conceptos claves para este propósito:

**Confiabilidad:** es la capacidad de poder obtener un mismo valor cuando una medición se repite en la misma muestra. Se denomina confiabilidad intra-observador cuando se utiliza un instrumento de medida varias veces por el mismo observador (evaluador) y en la misma muestra. La confiabilidad inter-observador es cuando se analizan distintas mediciones realizadas en la misma muestra, pero por personas (evaluadores) diferentes [34].

**Validez:** un procedimiento es válido en la medida en que se captura la realidad con exactitud. El sesgo (error sistemático) es una alteración de la validez de una medición, y consiste en una tendencia permanente a alejarse de la verdad, y en la misma dirección en cada medición. Los diferentes tipos de validez que existen son: (i) validez de contenido, (ii) validez de criterio, (iii) validez de constructo, (iv) validez ecológica[7].

Cuando se trata de monitorear la variación normal de un atleta de manera individual o su variabilidad diaria, se puede utilizar el error técnico (TE, de technical error) expresado como coeficiente de variación (CV%) o como cambio mínimo detectable (CMD). La variabilidad en cada medida se puede obtener de la literatura o mediante el uso de medidas repetidas de la variable recopilada en los atletas. La magnitud de estas variaciones depende tanto de la variable en sí misma como de las condiciones en las que fue recolectada (e.g., frecuencia cardiaca en diferentes condiciones medioambientales como calor, altura y/o humedad). Es importante destacar que no es el TE absoluto (o CV% o CMD) de ninguna medida lo que más importa, sino la magnitud de su ruido en comparación con los cambios habituales observados (señal) y el cambio mínimo sustancial (SWC). Una medida que muestra un TE grande pero que responde en gran medida al entrenamiento puede ser más sensible y útil que uno con un TE bajo, pero con una baja respuesta al entrenamiento. Cuanto mayor sea la relación señal / ruido, mayor será la sensibilidad de la medición (**Figura 10**) [18].

# Estableciendo el Cambio Mínimo Sustancial

El tamaño del efecto (ES, de *effect size*) es una medida cuantitativa del grado en que existe un fenómeno de interés. El tamaño del efecto permite evaluar si los efectos son teórica o prácticamente sustanciales. El SWC es el tamaño de efecto más pequeño que es de interés para un entrenador (o preparador físico, investigador, entre otros)[29,35,36]. Determinar el SWC puede ayudar a los integrantes del equipo Científico-Técnico a interpretar los tamaños de efectos observados (i.e., la magnitud de cambio observada). Nunca se puede decir que un efecto es exactamente cero, pero se puede establecer si un efecto es muy pequeño para ser considerado importante (i.e., efecto trivial). Al examinar si un tamaño del efecto observado no es solo estadísticamente significativo, sino más grande que el SWC, se pueden sacar conclusiones sobre si el efecto observado es sustancial, ya sea en términos teóricos o prácticos[29]. Así, cualquier efecto menor que este umbral es considerado trivial o de poca relevancia práctica. Existe gran incertidumbre en relación al verdadero tamaño del efecto en una determinada población (e.g., plantel de balonmano, liga de rugby, entre otros), pero es necesario estimar el SWC que permitirá establecer si los cambios fueron sustanciales o no. Si es que un análisis determinado (e.g, del plan de entrenamiento establecido en una pre-temporada) tiene la sensibilidad (i.e., potencia estadística) para detectar efectos que son tan grandes o mayores que el SWC, los resultados serán muy informativos. En otras palabras, un cambio que es claramente mayor que el TE no es necesariamente significativo en la práctica. Debe ser claramente mayor que el SWC para llegar a esta conclusión. Sin embargo, definir la magnitud apropiada del SWC es complejo y dependerá del contexto de entrenamiento, el tipo de adaptación que se está monitoreando y de la variable de interés. En términos generales, existen tres formas de determinar el SWC [18,29,36,37].

**Umbrales de referencia:** a través del principio del tamaño del efecto (e.g., cuántas desviaciones estándar (DE) de diferencia hay entre los

resultados de los dos grupos que se comparan (grupo de atletas A vs. grupo de atletas B, o el mismo grupo pre-post intervención); **Tabla 5A**).

**Tabla 5**. Tamaño del efecto y umbrales de referencia para determinar el SWC.

**A**

| Magnitud | ES en Desentrenados | ES en Medianamente entrenados | ES en Altamente entrenados |
|---|---|---|---|
| Trivial | <0.50 | <0.35 | <0.25 |
| Pequeño | 0.50 - 1.25 | 0.35 - 0.80 | 0.25 - 0.50 |
| Moderado | 1.25 - 1.90 | 0.80 - 1.50 | 0.50 - 1.00 |
| Grande | >2.00 | >1.50 | >1.00 |

**B**

| Magnitud | Coeficiente de Correlación |
|---|---|
| Trivial | <0.1 |
| Pequeño | 0.1 - 0.3 |
| Moderado | 0.3 - 0.5 |
| Grande | 0.5 - 0.7 |
| Muy grande | 0.7 - 0.9 |
| Extremadamente Grande | >0.9 |

**Variaciones intra-individuales:** para el rendimiento deportivo individual, expresar los cambios como una fracción de la variación del rendimiento del atleta es probablemente la mejor forma de estandarización, conservando la capacidad de comparar los valores obtenidos con umbrales de magnitud. Para las variables de rendimiento en deportes de equipo, la magnitud de la DE entre atletas está relacionada con la heterogeneidad del grupo, lo que puede verse como una limitación; sin embargo, aún es recomendable utilizar fracciones de la DE entre atletas. Dado que la magnitud de la DE entre atletas está relacionada con la heterogeneidad del grupo y no considera las variaciones inherentes a las medidas repetidas, usar el CV (individual) como referencia para el SWC es una excelente opción (**Tabla 6**)[18,36].

**Tabla 6**. Determinación del SWC a partir de variaciones intra-individuales.

| Tipo de Información | Ejemplos | Tipo de Análisis | Método de determinación SWC | Valores SWC de Referencia (nivel elite) |
|---|---|---|---|---|
| Rendimiento de Atleta individual | Eventos de pista y campo | Atleta individual comparado consigo mismo en el tiempo | 1/3 del CV del rendimiento de la competencia | ~1% 100 m sprint.<br>~3% para maratón<br>~2.5% altura CMU |
| Rendimiento en deportes de equipo | CMJ; tiempo en velocidad; velocidad aeróbica máxima (VAM) | Análisis individual: jugador comparado consigo mismo en el tiempo | 1/5 de la DS entre atletas.<br>De 0.5 a 2 veces el CV individuales. | ~1.3% VAM<br>~1% para 20 m sprint<br>~8% distancia total Yo-Yo test R1 |

**En relación al cambio en el rendimiento que la variable supuestamente está monitoreando:** cambio real en alguna variable que se relaciona con el SWC en el rendimiento (e.g., 1% para FC sub-máxima).

El proceso y las variables que se deben tomar en cuenta para evaluar cambios sustanciales se puede observar en la **Figura 20**[18]. Cuando se trata de monitorear la variación normal de medición de un atleta individual, o la variabilidad diaria dentro del atleta, se puede utilizar el TE, expresado como CV%. Como ya se mencionó, la variabilidad en cada medida puede obtenerse de la literatura de investigación o utilizando medidas repetidas de la variable recopilada en los atletas. La magnitud de estas variaciones depende tanto de la variable en sí (e.g., la FC) como de las condiciones de registro (e.g., condiciones ambientales).

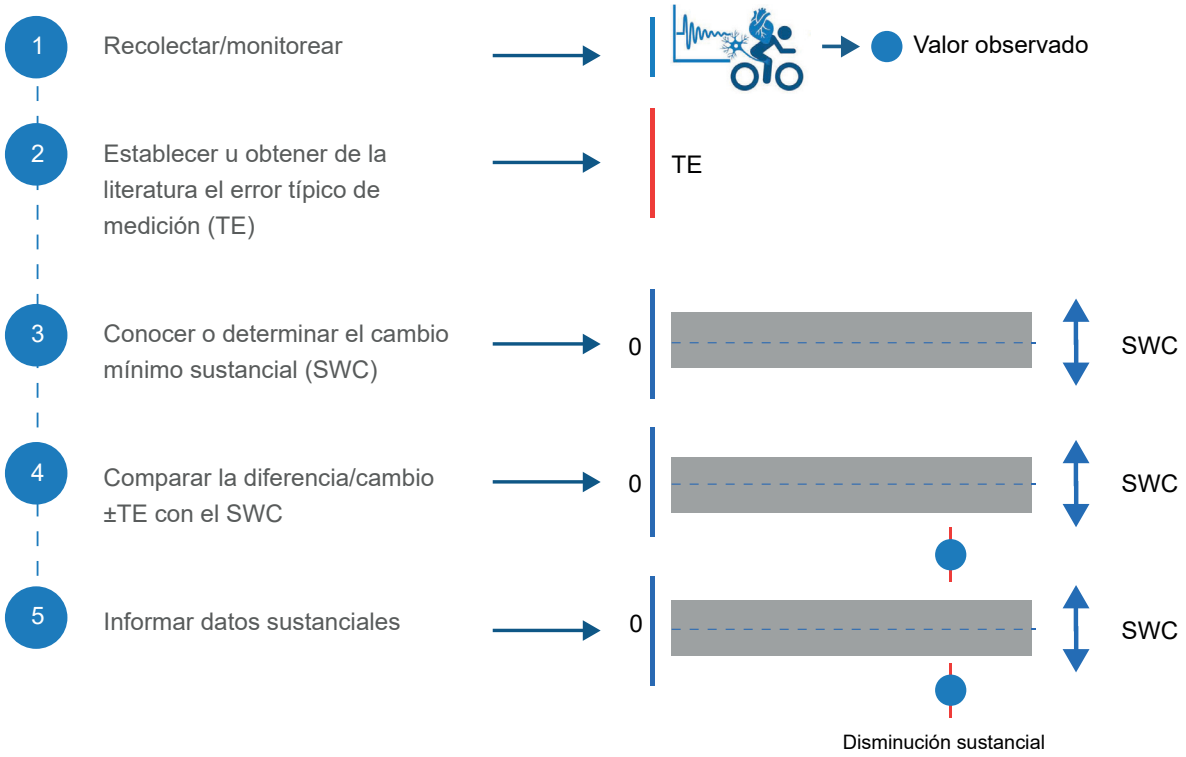



**Figura 20**. Proceso estadístico de cinco pasos para valorar cambios en las variables de monitoreo en atletas (Adaptado de Laursen y Buchheit 2019)[18].

Finalmente, la idoneidad de una herramienta para monitorear a un atleta se puede establecer valorando la relación señal / ruido, utilizando los

criterios propuestos por el Instituto Australiano del Deporte (**Figura 21**)[26]. Cuando el test se califica como No-óptima o Aceptable, su desempeño se puede mejorar mediante el uso de test repetidos y enfatizando la estandarización de los protocolos y procedimientos del test. Otros factores que influyen en la elección de un test incluyen el costo, la dotación de personal y la practicidad de implementar el test en el laboratorio o en el campo. Los atletas están menos dispuestos a realizar test que son invasivos (e.g., biopsia muscular, veno-punción repetida) o exhaustivos (e.g., test contrarreloj prolongados de alta intensidad). El tiempo y el dinero siempre son una consideración importante para el equipo Científico-Técnico. Un test debe ser sustancialmente mejor en uno o más de estos factores para garantizar su inclusión en una batería de valoraciones de monitoreo.

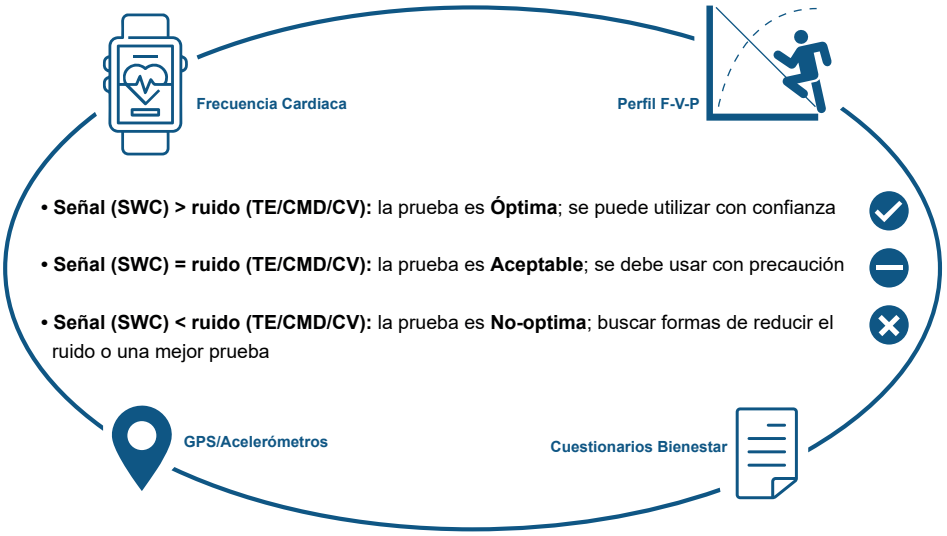



**Figura 21**. Criterios de idoneidad de una herramienta para monitorear a un atleta (Adaptado de Tanner y Gore[26]).

Un correcto diseño en la planificación del monitoreo, un análisis adecuado de los datos y una visión práctica del contexto, permitirá traer de vuelta al terreno a las Ciencias Aplicadas al Deporte y ser de utilidad para la toma de decisiones del día a día en el proceso de preparación y competencia del deporte de alto rendimiento. En los siguientes capítulos se describirán las diferentes área que conforman la Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte, terminando con ejemplos prácticos de cómo implementarlas en el proceso del deporte de alto rendimiento.

# Referencias

**1.** De Bosscher, V., De Knop, P., Van Bottenburg, M. & Shibli, S. A Conceptual Framework for Analysing Sports Policy Factors Leading to International Sporting Success. Eur. Sport Manag. Q. 6, 185–215 (2006).

**2.** De Bosscher, V. A mixed methods approach to compare elite sport policies of nations. A critical reflection on the use of composite indicators in the SPLISS study. Sport Soc. 21, 331–355 (2018).

**3.** DeWeese, B. H., Hornsby, G., Stone, M. & Stone, M. H. The training process: Planning for strength–power training in track and field. Part 1: Theoretical aspects. J. Sport Health Sci. 4, 308–317 (2015).

**4.** De Bosscher, V., Shibli, S., Westerbeek, H. & van Bottenburg, M. Convergence and Divergence of Elite Sport Policies: Is There a One-Size-Fits-All Model to Develop International Sporting Success? J. Glob. Sport Manag. 1, 70–89 (2016).

**5.** French, D. N., Torres Ronda, Lorena, & National Strength & Conditioning Association (U.S.). NSCA's essentials of sport science. (Champaign, IL: Human Kinetics, 2022).

**6.** Cooke, S. et al. Diverse perspectives on interdisciplinarity from Members of the College of the Royal Society of Canada. FACETS 5, 138–165 (2020).

**7.** McGuigan, M. Monitoring training and performance in athletes. (Champaign, IL: Human Kinetics, 2017).

**8.** Joyce, D. & Lewindon, D. High-performance training for sports. (Champaign, IL: Human Kinetics, 2021).

**9.** Morin, J.-B. & Samozino, P. Interpreting Power-Force-Velocity Profiles for Individualized and Specific Training. Int. J. Sports Physiol. Perform. 11, (2015).

**10.** Issurin, V. B. Generalized training effects induced by athletic preparation. A review. J. Sports Med. Phys. Fitness 49, 333–345 (2009).

**11.** Zatsiorsky, V. M. & Kraemer, W. J. Science and Practice of Strength Training. (Champaign, IL: Human Kinetics, 2006).

**12.** Verkhoshansky, Y. & Siff, M. C. Supertraining. (Verkhoshansky, 2009).

**13.** Foster, C., Rodriguez-Marroyo, J. A. & Koning, J. J. de. Monitoring Training Loads: The Past, the Present, and the Future. Int. J. Sports Physiol. Perform. 12, S2–S2–8 (2017).

**14.** Verhagen, E. & Gabbett, T. Load, capacity and health: critical pieces of the holistic performance puzzle. Br. J. Sports Med. 53, 5–6 (2019).

**15.** Malone, S., Hughes, B., Doran, D. A., Collins, K. & Gabbett, T. J. Can the workload–injury relationship be moderated by improved strength, speed and repeated-sprint qualities? J. Sci. Med. Sport 22, 29–34 (2019).

**16.** Malone, S., Roe, M., Doran, D. A., Gabbett, T. J. & Collins, K. D. Protection Against Spikes

in Workload With Aerobic Fitness and Playing Experience: The Role of the Acute:Chronic Workload Ratio on Injury Risk in Elite Gaelic Football. Int. J. Sports Physiol. Perform. 12, 393–401 (2017).

**17.** Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M. & Coutts, A. J. Internal and External Training Load: 15 Years On. Int. J. Sports Physiol. Perform. 14, 270–273.

**18.** Laursen, P. & Buchheit, M. Science and application of high-intensity interval training. (Champaign, IL: Human Kinetics, 2019).

**19.** Bishop, D., Burnett, A., Farrow, D., Gabbett, T. & Newton, R. Sports-science roundtable: does sports-science research influence practice? Int. J. Sports Physiol. Perform. 1, 161–168 (2006).

**20.** Buckthorpe, M., Frizziero, A. & Roi, G. S. Update on functional recovery process for the injured athlete: return to sport continuum redefined. Br. J. Sports Med. 53, 265–267 (2019).

**21.** Sierra Bravo, R. Técnicas de investigación social: teoría y ejercicios. (Paraninfo, 1998).

**22.** Hernández Sampieri, R., Mendoza Torres, Christian Paulina. Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. (McGraw-Hill Interamericana, 2018).

**23.** Estévez Cullell, M., Arroyo Mendoza, M. & González Terry, C. La Investigación científica en la actividad física: su metodología. (Editorial Deportes, 2006).

**24.** Palominos, F. E., Mendez, M. A. & Barrera, R. A. Sistema de perfeccionamiento orientado a competencias para docentes de la educación superior. Form. Univ. 7, 11–22 (2014).

**25.** Palominos, F. Implementación de ambientes de aprendizaje de apoyo a la docencia. in Seminario de Evaluación de Competencias en la Educación Superior (ed. Universidad Católica de Temuco) (MECESUP, 2007).

**26.** Tanner, R. K., Gore, C. J., & Australian Institute of Sport. Physiological tests for elite athletes. (Champaign, IL: Human Kinetics, 2013).

**27.** Izquierdo Redín, M. Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte. (Editorial Médica Panamericana, 2008).

Buchheit, M. Houston, We Still Have a Problem. Int. J. Sports Physiol. Perform. 12, 1111–1114 (2017).

**28.** Aisbett, J., Lakens, D. & Sainani, K. Magnitude Based Inference in Relation to One-sided Hypotheses Testing Procedures. https://osf.io/pn9s3 (2020) doi:10.31236/osf.io/pn9s3.

**29.** Batterham, A. M. & Hopkins, W. G. Making meaningful inferences about magnitudes. Int. J. Sports Physiol. Perform. 1, 50–57 (2006).

**30.** Ialongo, C. The logic of equivalence testing and its use in laboratory medicine. Biochem. Medica 5–13 (2017) doi:10.11613/BM.2017.001.

**31.** Weissgerber, T. L., Milic, N. M., Winham, S. J. & Garovic, V. D. Beyond Bar and Line Graphs: Time for a New Data Presentation Paradigm. PLOS Biol. 13, e1002128 (2015).

**32.** Weissgerber, T. et al. Reveal, Don't Conceal: Transforming Data Visualization to

Improve Transparency. Circulation 140, 1506–1518 (2019).

**33.** Martínez-González, M. Á., Sánchez-Villegas, A., Toledo Atucha, E. & Faulín, F. J. Bioestadística amigable. (Elsevier, 2020).

**34.** Isager, P., Scheel, A. & Lakens, D. Equivalence Testing for Psychological Research: A Tutorial. (2019) doi:10.17605/OSF.IO/QAMC6.

**35.** Buchheit, M. The Numbers Will Love You Back in Return—I Promise. Int. J. Sports Physiol. Perform. 11, 551–554 (2016).

**36.** Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M. & Hanin, J. Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science: Med. Sci. Sports Exerc. 41, 3–13 (2009).

# LINEAMIENTOS DE MEDICINA DEPORTIVA APLICADA AL ALTO RENDIMIENTO

**Autores:**
Ignacio Solar, Daniel Bueno, Monserrat Uberuaga, Luis Salazar, María Antonieta Riffo, Francisco Morales.

# TABLA DE CONTENIDOS


Breve Reseña Histórica - Orígenes de la Medicina Deportiva 073
Nacimiento y Consolidación de la Medicina Deportiva en el Mundo 073
Nacimiento y Consolidación de la Medicina Deportiva en Chile 073
Rol de la Medicina Deportiva en el Alto Rendimiento 075
Área de Medicina Deportiva y Tributo a los Pilares Estratégicos 078
Pilar Rendimiento Deportivo 078
Monitoreo de Cargas 079
Biomarcadores 084
Monitoreo del sueño 091
Monitoreo y entrenamiento de la musculatura respiratoria 096
Entrenamiento/Competencia en Altura 103
Pilar Prevención de Lesiones y Enfermedades 113
Valoración pre-participativa 113
Broncoconstricción inducida por ejercicio 123
Valoración y consideraciones en viajes a competencias 129
Estrategias para la Mitigación del Jet-Lag 136
Prevención y Manejo de Patología por Calor 139
Apoyo y Prestaciones Según Condición Deportiva 147
Referencias 149

# BREVE RESEÑA HISTÓRICA – ORÍGENES DE LA MEDICINA DEPORTIVA

*Nacimiento y Consolidación de la Medicina Deportiva en el Mundo*

Las primeras referencias del deporte con fines terapéuticos se registraron en el Atha-Veda hindú y el libro del kunf-fu chino. En el caso del mundo occidental, textos hipocráticos promovían la actividad física como herramienta terapéutica[1]. Sería también en Grecia donde se daría estructura al enfrentamiento competitivo entre atletas, teniendo como máximo referente las Olimpiadas en honor a Zeus. Nacía así la actividad deportiva profesional. Escaso avance en el área se observó durante la época de los grandes imperios y la edad media, y no sería hasta el siglo XV cuando la actividad física retoma un lugar dentro de la academia. Laurent Joubert, en Montpellier, introduce el ejercicio terapéutico dentro del currículo de la escuela de medicina y Ambriose Paré recomienda formalmente el acondicionamiento físico de las extremidades post intervención de fracturas como parte del tratamiento[1]. En el siglo XIX, el área toma cuerpo propio dando origen a las primeras publicaciones científicas y textos académicos dedicados exclusivamente al tema, además del nacimiento de sociedades científicas afines, tales como la Federación Internacional de Medicina del Deporte (1928) y el Colegio Americano de Medicina Deportiva (1954)[2]. A la fecha, varios países cuentan con programas de especialización de medicina deportiva, entre ellos España, Alemania, Italia, Estados Unidos, Canadá, México, Colombia, Brasil, Uruguay, Australia y Nueva Zelanda.

*Nacimiento y Consolidación de la Medicina Deportiva en Chile*

Durante el siglo XIX se pudo observar la masificación de la práctica deportiva y su incorporación a los programas educativos. Durante el siglo XX, tanto la salud como la actividad física fueron temas de estado.

El primer encuentro entre ambas áreas se dio en 1912 con la creación del primer gabinete de kinesioterapia que ofrecía ejercicio terapéuticos y masoterapia médica. En 1913, en un discurso articulado por médicos y educadores, se promovió "el fortalecimiento de los cuerpos infantiles como una importante garantía de salud y una herramienta para el desarrollo de la modernización pedagógica de Chile"[3]. El aumento de espacios deportivos, la necesidad de aplicar métodos científicos para mejorar el rendimiento de ídolos deportivas nacionales y eventos deportivos internacionales como el mundial de fútbol sirvieron como cimiento para consolidar la presencia del médico como parte del equipo profesional deportivo. En 1951, la comitiva del equipo nacional que representó a Chile en los Juegos Panamericanos de Buenos Aires declaraba: "Informes revelaron la eficiencia del médico del deporte, tanto en la mantención sanitaria, como orientadora y asistencial de los componentes de la Delegación Deportiva Chilena [...] donde se deja constancia de la eficiencia e indiscutible labor útil e irremplazable del médico especializado". En el mismo año se crea el Gabinete de Biotipología y Control Médico Deportivo del Departamento de Deportes del Estado, buscando dar una orientación más científica al fichaje de nuevos atletas. Todo este proceso se ve consolidado con la creación el 1956 de la Sociedad Chilena de Medicina del Deporte (SOCHMEDEP). Diego Damm, columnista de la revista Estadio, señalaba por entonces: " fueron tan notorios los efectos benéficos del sistema, que desde entonces quedó abierta en nuestro país una nueva ruta de especialización médico-deportiva"[3]. El mismo año nace la revista Archivos de la SOCHMEDEP y se organiza el 1er Congreso Chileno y el IX Congreso Suramericano de Medicina Deportiva, con importantes aportes del Estado (Ministerio de Salud Pública; la Federación Atlética y de Boxeo; la Asociación Central de Fútbol; el Departamento de Deportes del Estado; y el Consejo Nacional de Deportes). En los registros de sus sesiones se pueden vislumbrar las aspiraciones de la SOCHMEDEP: “queda [...] una segunda etapa de enorme importancia, [el de] obtener que la Facultad de Medicina [de la Universidad de Chile], de la organización del primer curso de medicina del deporte" (Archivos de la SOCHMEDEP, en “Sesiones de la Sociedad”. 1957)  Para 1962 y en el contexto del mundial de fútbol, se organizó la primera versión no europea del XIV Congreso Internacional de

Medicina Deportiva, máximo representante académico del área a nivel mundial. El ministro de salud de ese año, el Dr. Benjamín Cid, atestiguando el crecimiento de la disciplina exaltó "la importancia que tiene la medicina deportiva en la formación de una juventud sana y bien encauzada. [...] [y] que esta rama debiera figurar en la docencia de la Universidad y que cualquier iniciativa en este sentido tendría el apoyo del Gobierno y suyo personal"[3].

Consideraciones históricas impidieron dar continuidad a esta nueva área médica. Sin embargo, durante las últimas dos décadas el masivo aumento de la práctica deportiva amateur en conjunto con la creciente evidencia de los beneficios de la actividad física sobre la salud ha vuelto a dar un nuevo impulso a la especialidad. Heredando el legado de los pioneros en medicina del deporte de mediados del siglo XX, el año 2013 un nuevo grupo de galenos fundó el capítulo de Medicina Deportiva de la SOCHMEDEP, buscando diferenciarla del trabajo del traumatólogo deportivo, especialidad que hasta la fecha había cobijado de manera parcial el tema. En la actualidad, la especialidad ha sido incorporada formalmente en la Corporación Nacional Autónoma de Certificación de Especialidades Médicas (2019), 2 universidades dictan programas formales de especialización en el área y existe una amplia gama de oferta académica específica del área. En relación con el área de Medicina Deportiva de la Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte, esta cuenta con 3 deportólogos dentro de su equipo, entre cultores y egresados de programas universitarios.

# ROL DE LA MEDICINA DEPORTIVA EN EL ALTO RENDIMIENTO

Él/la atleta de Alto Rendimiento es una de las sub-poblaciones específicas del campo de acción del/la Deportólogo/a (ver **Figura 1**).

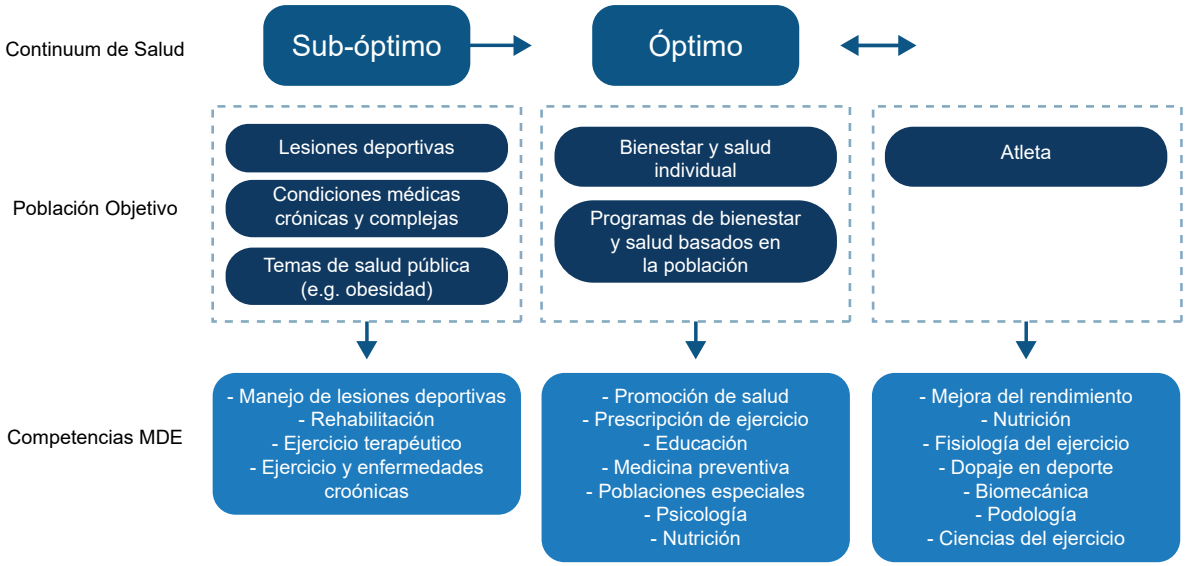



**Figura 1.** Rol de la Medicina del Deporte y Ejercicio en el Atleta de Alto Rendimiento (Adaptado de McRoy 2009)[4].

En términos generales, el/la Médico/a del Deporte que acompaña los procesos deportivos de los atletas busca la optimización del rendimiento deportivo, velando por la salud del/la atleta y promoviendo acciones que prevengan y traten sus condiciones clínicas[5]. Para lo anterior, sus acciones se pueden resumir en:

**Asistencia médica continua**[4,6]**:** incluyendo valoraciones pre-participativas, manejo de patología aguda y crónica, particularmente aquella derivada del proceso deportivo específico. Una necesidad especialmente sensible es la disponibilidad a tiempo completo del especialista para asistir a atletas durante estadías en el extranjero, así como orientación en medicina del viajero (vacunación, jet-lag, entre otros). Otros escenarios específicos son la asistencia en concentrados de entrenamiento, estadías en ambientes extremos (altura, calor, humedad), entre otras.

**Optimización de cargas de entrenamiento**[4,6-8]**:** a través de indicadores objetivos y subjetivos, compatibilizando la salud del atleta con el rendimiento deportivo. Particular interés en la prevención del Síndrome de Deficiencia Energética Relativa (RED-s) y/o del Síndrome de Sobre

entrenamiento. Ejemplos de lo anterior son el seguimiento personalizado en períodos de baja y alta carga de variables fisiológicas como la variabilidad de frecuencia cardíaca, biomarcadores como urea y creatina quinasa y percepción subjetiva de esfuerzo (escala de Borg), sopesando la clínica que se presenta con los antecedentes médicos particulares que podrían explicarla. Lo anterior, integrado con la opinión de otros/as profesionales de las ciencias del deporte, particularmente del área de fisiología y psicología deportiva (trabajo inter/transdisciplinario).

**Asesoría nutricional, uso de sustancias ergogénicas y dopaje**[5,6,9,10]**:** en línea con las definiciones de la Agencia Mundial Antidopaje, asesorando en el uso de fármacos y suplementos nutricionales seguros en un trabajo colaborativo, particularmente con el área de nutrición deportiva.

**Cobertura de eventos deportivos**[6,11]**:** acompañando al/la atleta en la culminación de su proceso de preparación deportiva, así como velando por su salud antes, durante y después del evento según se requiriese. Este momento resulta particularmente sensible, considerando los múltiples factores estresantes que representa la competición en sí, por lo que una relación de confianza –construida durante todo el proceso de preparación previa– para resolver los problemas de salud que se presenta in situ a una competencia puede ser un factor clave para el rendimiento deportivo.

**Colaboración inter/transdisciplinaria con otros/as profesionales de las ciencias del deporte**[5,6,12]**.**

**Educación continua a atletas, entrenadores y colaboradores del alto rendimiento deportivo**[5]**.**

**Investigación, innovación y actualización en prácticas de Medicina y Ciencias del Deporte orientadas al Alto Rendimiento**[4,6,12]**:** procurando mantener los más alto estándares en la práctica profesional individual e institucional.

Dadas las características específicas del atleta de alto rendimiento, es

deseable un alto grado de especialización del/la profesional a cargo, con el fin de profundizar en las necesidades propias de la disciplina deportiva, así como aplicar la evidencia científica de forma contextualizada al individuo/equipo deportivo.

En consideración de lo anterior, es posible vislumbrar que el/la Médico/a del Deporte tributa de manera directa e indirecta a los pilares de rendimiento deportivo del Modelo SPLISS (ver **Capítulo 1**), participando de equipos inter/transdisciplinarios en la toma de decisiones institucionales (Pilar 2), optimizando los servicios a los que los/las atletas en las instalaciones deportivas (Pilar 6) y realizando y aplicando las ciencias del deporte (Pilar 9). Considerando la institucionalidad local, el área de medicina deportiva estructura sus acciones en función de los pilares estratégicos de la Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte: i) Pilar Rendimiento Deportivo; ii) Pilar Prevención de Lesiones y Enfermedades; iii) Pilar Evidencia Diagnostica, Rehabilitación y Reintegro Deportivo; iv) Pilar Perfeccionamiento e Investigación.

# ÁREA DE MEDICINA DEPORTIVA Y TRIBUTO A LOS PILARES ESTRATÉGICOS

### Pilar Rendimiento Deportivo

Entendemos el apoyo para el rendimiento deportivo como el proceso de acompañamiento y asesoría continua que abarca desde la pretemporada hasta la competencia fundamental. Entre sus acciones destacan el monitoreo de entrenamiento en campo, de parámetros de carga –interna y externa–, la optimización de la recuperación y la asesoría especializada en condiciones propias del alto rendimiento (planificación de viajes, manejo de jet lag, estadías de entrenamiento en altura, adaptación a calor y humedad, ayudas ergogénicas, entre otras).

# MONITOREO DE CARGAS

*Consideraciones generales en el monitoreo deportivo*

Algunas conceptos importantes para este apartado se definirán a continuación. No obstante, el Concepto de Carga de Entrenamiento se puede revisar en el **Capítulo 1**:

**Monitoreo:** se refiere a la cuantificación, el análisis y la gestión de la carga de entrenamiento, y tiene como objetivo perfeccionar el proceso de entrenamiento para mejorar los resultados del mismo en términos de rendimiento y de salud de los atletas[13].

**Periodización:** secuencia de diferentes unidades de entrenamiento (corta, mediana, larga duración) de forma de obtener los resultados planificados y deseados. Debe ser un concepto flexible y sistemático que busca ganar control sobre las respuestas adaptativas del entrenamiento en función de la competición[14].

**Carga externa:** externas son medidas objetivas del trabajo realizado por el atleta durante el entrenamiento o la competición. Las medidas comunes incluyen potencia de salida, velocidad, aceleración, análisis de tiempo-movimiento, parámetros del sistema de posicionamiento global (GPS) y parámetros derivados del acelerómetro, entre otras[15,16].

**Carga interna:** corresponde el estrés fisiológico individual de cada atleta, considera los factores estresantes biológicos (fisiológicos y psicológicos) relativos impuestos al atleta durante el entrenamiento o la competencia. Usualmente usados son: frecuencia cardiaca, lactato en sangre, consumo de oxígeno, escalas de percepción subjetiva de esfuerzo (PSE)[15,16].

**Tamizaje:** medición puntual con la finalidad de pesquisar excesos o deficiencias.

*Factores a considerar al monitorear una variable*[15]

Idealmente, las variables que van a monitorear durante el proceso deben cumplir con las siguientes características:

- Validez y confiabilidad.
- Evidencia que la respalde.
- Costo-beneficio.
- Aplicabilidad de la valoración.
- Métodos de valoración.
- Grado de interferencia con el entrenamiento/competición.
- Aplicabilidad de la variable en la planificación del entrenamiento.
- Relación con la disciplina deportiva.

# MÉTODOS DE MONITOREO

*Carga externa*[15,16]

- Análisis de movimiento y posición.
- Podómetros.
- Acelerómetros.
- Sistemas con GPS integrado.
- Sistemas inerciales.
- Potenciómetros.
- Dinamómetros.
- Cuantificación de ejercicios (intensidad, volumen, densidad y complejidad).
- Entre otros.

*Carga interna*

## Percepción subjetiva del esfuerzo (PSE).

Es uno de los métodos más comunes y simples de usar, se basa en la noción del atleta del esfuerzo, proporcionando información en

retrospectiva de como se sintió en determinado entrenamiento o competencia. La evidencia arroja que tiene una adecuada correlación con la frecuencia cardiaca, sin embargo, debe ser usada con criterio, ya que no es así para todos los tipos de entrenamiento y puede no ser muy exacta ni válido en los atletas jóvenes o menos familiarizados con la escala a usar[15,16].

**Tabla 1**. Alternativas de escalas de Percepción Subjetiva de Esfuerzo (PSE) para el monitoreo de cargas.

| Alternativas de escalas de PSE |
|---|
| PSE 6 - 20 |
| PSE 0 - 10 |
| PSE 0 - 100 |
| PSE respiratorio |
| PSE de velocidad |

*Combinación de variables*

También se describe la combinación de variables para cuantificar la carga de entrenamiento, considerando la PSE (escala del 0 al 10) por la duración de la sesión (minutos, demostrando que es un método válido y fiable[16]. Otras combinaciones complementarias son la monotonía y la tensión[17]:

**Monotonía de entrenamiento=** promedio carga diaria/Desviación estándar carga diaria.

**Tensión de entrenamiento=** monotonía x carga semanal.

## Cuestionarios.

Los cuestionarios son una herramienta relativamente simple y de bajo para determinar la carga de entrenamiento, sin embargo, se basan en información subjetiva del atleta, lo que puede ser variable por otros aspectos como el conocimiento de sí mismos, la familiarización con el test, además de ser manipulables hasta cierto punto, por lo que se recomienda ser corroborada con datos fisiológicos más objetivos[16]. Algunos de ellos son:

- Test de Wellness o cuestionario de Bienestar: intentan evaluar cómo los individuos perciben estados físicos y psicológicos particulares, suele ser en escala de 1 a 5, para para factores como energía, sueño, ánimo, entre otros[17].
- Perfiles del estado de ánimo de los atletas, (POMS: Profile of Mood States)[16].
- Cuestionario de análisis diario de las demandas de vida de los atletas (DALDA-Q: Daily Analysis of Life Demands for Athletes)[16].
- Cuestionario de Estrés de Recuperación para Atletas (REST-Q: Recovery-Stress Questionnaire for athletes)[16].
- Cuestionarios de recuperación (TQR-Scale: Total Recovery Scale)[16] (ver detalles en Lineamientos de Psicología Deportiva).

## Fatiga neuromuscular (ver capítulo en Biomecánica Deportiva).

## Biomarcadores (ver más adelante).

## Frecuencia cardiaca (FC) (ver capítulo en Fisiología Deportiva).

**Tabla 2**. Nivel de uso, evidencia y valor práctico de marcadores para monitorear la carga de entrenamiento[18].

| Variable | Nivel de uso | Nivel de evidencia | Valor práctico |
|---|---|---|---|
| GPS y acelerometria | Alto | Moderado | Moderado a Alto |
| PSE | Alto | Alto | Alto |
| Cuestionarios Bienestar | Alto | Alto | Alto |
| Biomarcadores | Bajo | Moderado | Bajo |
| Frecuencia cardiaca | Alto | Moderado a Alto | Moderado a Alto |
| Fatiga neuromuscular | Moderado | Moderado | Moderado |

*Características de un sistema de monitoreo ideal*[19].

- Herramientas de monitoreo confiables y válidas.
- Fáciles de implementar.
- Resultados fáciles de interpretar por el entorno deportivo.
- Entrega retroalimentación rápida.
- Identifica variables clave.
- Al alcance del presupuesto de la organización deportiva.
- Genera información individual y grupal.
- Que no consuma grandes cantidades de recurso humano.
- Puede realizarse de forma remota.
- Genera información que permita ajustar los programas de entrenamiento.

*Datos de utilidad práctica*[15,16,19]

- Las escalas subjetivas de monitoreo, particularmente la PSE de Borg, tienen buena correlación con variables de carga interna y externa. Además, deben ser lo más estandarizadas posibles (día y hora similar). Además, las variables más útiles parecieran ser sensación de dolor muscular, fatiga, sensación de bienestar y calidad y cantidad de sueño.
- Se debe considerar el tiempo necesario para analizar y presentar los datos a las partes interesadas como parte del proceso.
- El monitoreo de la frecuencia cardíaca presenta algunas limitaciones. Entre ellas, la dificultad de valorar grupos grandes de atletas y la necesidad de un dispositivo durante el ejercicio.
- Los entrenamientos en el inicio de la temporada podrían organizarse en relación a variables fisiológicas (FC, lactato, entre otras). Mientras se acerca la competencia, el foco debería modificarse hacia un entrenamiento determinado por el rendimiento (ejemplo: ritmo de carrera).

*Conclusiones*

El monitoreo de cargas de entrenamiento debe ser individualizada en relación a los atletas, deporte, y entorno deportivo y sociocultural; además debe considerar la razón costo/efectividad, según las

condiciones de las instituciones en las cuales se apliquen. Por último, deben permitir tomar decisiones al respecto de sus resultados y monitorear evolución en el tiempo según las eventuales intervenciones.

## Biomarcadores

Son múltiples los elementos bioquímicos que permiten valorar variados aspectos fisiológicos de los atletas, sin embargo, deben ser solicitados de acuerdo con su relación con la sintomatología, contexto deportivo, social, económico, salud entre otros aspectos. **La Figura 2** a continuación resume las múltiples opciones a considerar:

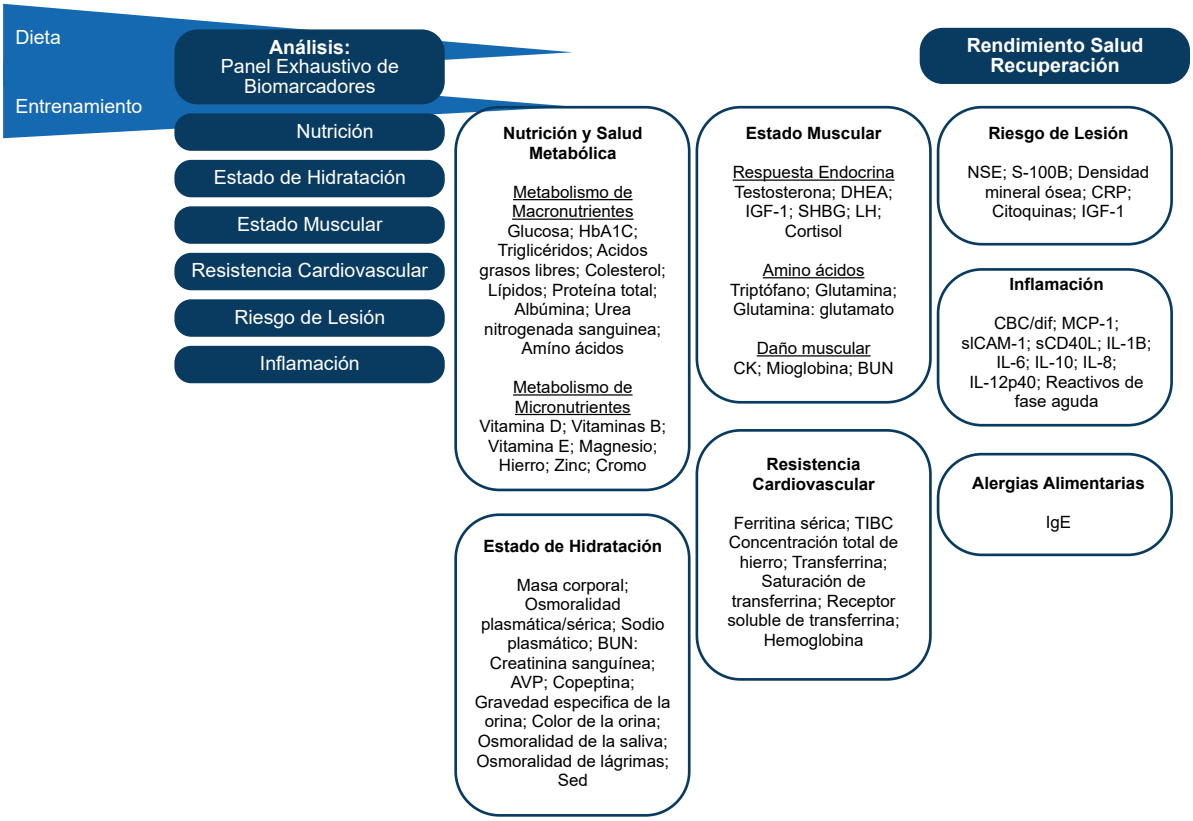



**Figura 2**. Resumen de biomarcadores y su utilidad clínica en atletas de alto rendimiento (Adaptado de Lee y Cols. 2017)[20].

Considerando el contexto de la UCAD, se pueden realizar las siguientes valoraciones:

*Hemograma*

Es la valoración de las 3 poblaciones celulares en sangre periférica: I) eritrocitos (glóbulos rojos); II) leucocitos (glóbulos blancos) y III) plaquetas, en relación a los valores absolutos, porcentaje y características morfológicas de estas. Su alteración frecuentemente es reflejo de eventos a nivel periférico[21]. En relación con el deporte y la salud de los atletas, cada línea cobra relevancia por distintos aspectos (adicionalmente a causales de salud):

**A) Glóbulos rojos (GR):** mantener sus valores óptimos es relevantes para un trasporte de oxígeno y una capacidad aeróbica óptima de los(as) atletas.

- Anemia: corresponde a los niveles y concentración de hemoglobina (Hb) por debajo de los niveles establecidos para la edad y sexo del atleta[21], con un impacto negativo en salud y rendimiento.
- Anemia dilucional: durante el entrenamiento, se agregan sales, agua y albúmina a la sangre, expandiendo el volumen plasmático inicial y diluyendo el nivel de Hb sin cambios en la masa de GR. Una sesión de ejercicio de alta intensidad puede expandir el volumen plasmático en un 10% en 24 horas, lo cual per se no es dañino; no obstante, mantener altos volúmenes de alta intensidad vuelve persistente este hecho, manteniendo menores niveles de Hb que otros atletas[22].
- Poliglobulia: es el aumento del número de eritrocitos. Puede ser relativa o pseudo-poliglobulia en casos de hemoconcentración (deshidratación severa, quemaduras) y altura (entrenamiento en altura, origen de países en altura, entre otras). La policitemia vera, se acompaña de alteraciones de síndromes mieloproliferativos (leucocitosis y trombocitosis)[21].

**B) Glóbulos blancos o leucocitos (GB)**

- Neutrofilia (RAN >8.000/ml): se puede ver en ejercicio intenso, infecciones, inflamación, estrés, colagenopatías, hipoxia,

medicamentos (corticoides, adrenalina, entre otras), síndromes mieloproliferativos, entre otros.

- Neutropenia (RAN <1.500/ml): puede deberse a fármacos (quimioterápicos, anti-inflamatorios no esteroidales, antiepilépticos, psicofármacos, entre otros), infecciones (hepatitis, influenza, HIV, entre otros).
- Eosinofilia (eosinófilos >800/ml): alergias, parasitosis y algunos fármacos utilizados frecuentemente.
- Linfocitosis (linfocitos >4000/ml): frecuentemente en infecciones virales.
- Monocitosis (monocitos>1000/ml): es característica en el período de recuperación de neutropenias y en convalecencia de cuadros infecciosos.

**C) Plaquetas**

- Trombocitopenia (plaquetas <100 x109/l): por diversos mecanismos, inmunológicos, producción ineficaz, destrucción no inmune, secuestro, entre otros.
- Pseudotrombocitopenia: plaquetas bajas, sin clínica compatible ejemplo: punciones venosas difíciles.
- Trombocitosis: (plaquetas >400 x 109/l): visible en cuadros inflamatorios crónicos, recuperación de infecciones, hemorragia, aguda, déficit de fierro, post esplenectomía, entre otros [21]

*Hierro*

El hierro (Fe) es un micronutriente fundamental en el deporte, responsable del correcto transporte de oxígeno. Se puede evaluar por medio del hierro sérico, ferritina, transferrina, o saturación de transferrina. La ferritina, la cual es la forma en que se almacena el Fe, disminuye por menstruación, sangrado, ingesta insuficiente, absorción intestinal disminuida (por inflamación/ejercicio), sudoración, presión intramuscular aumentada, carga mecánica, anti-inflamatorios no esteroidales (AINES), entre otras causas. Por otra parte, se puede ver aumentado por inflamación/infección, hemolisis, golpe de calor, alteración hepática, síndrome metabólico, obesidad, enfermedad

celiaca, y alteraciones tiroideas[20,23], pudiendo ser fluctuante en atletas. Su relevancia radica por su impacto en el rendimiento bajo 30 a 40 ng/mL, afectando la velocidad, el consumo de oxígeno, la capacidad de trabajo, la fatiga, la eficiencia energética, entre otros[20]. El inconveniente de su valoración es su elevación en inflamación aguda, por lo que debe interpretarse en contexto con la clínica del atleta[24].

*Perfil tiroideo*

Las hormonas tiroideas regulan múltiples aspectos, entre ellos, factores cardiacos, metabólicos, y musculares. Por lo tanto, sus alteraciones, ya sea la falta de producción o el exceso, tendrá implicancias en su rendimiento y prevalencia de lesiones. Adicionalmente, puede ser una de las primeras alteraciones en entidades como el síndrome de sobre entrenamiento o el déficit relativo de energía asociado al deporte (RED-s)[25,26]. Por lo que la medición de la hormona tiroides estimulante (TSH por sus siglas en inglés) y T4 libre se hace fundamental.

*Perfil anabólico/catabólico*

**A) Testosterona:** hormona esteroidea que genera aumento de la masa y la fuerza muscular. Indicador de un estado óptimo de manejo de cargas. Su disminución de los rangos basales o de referencia (300 - 1000 ng/dL para hombres y 15-70 ng/dL para mujeres) puede reflejar una mala adaptación al estrés tanto físico como psicológico[20,27].

**B) Cortisol:** hormona de la corteza suprarrenal con múltiples efectos sobre la gluconeogénesis, el aumento de la glicemia, pH celular, modulación de la inflamación y el sistema inmune, entre otros. Aumenta su secreción en periodos de estrés, por lo que un aumento de las cargas de ejercicio sin adecuada recuperación, alteraciones del sueño, estrés psicológico, entre otras situaciones, pueden generar su aumento favoreciendo el catabolismo metabólico, afectando negativamente el rendimiento deportivo y la salud del/la atleta. Su valoración puede ser sanguínea o salival, y se correlaciona con la intensidad del ejercicio. La relación cortisol/testosterona es un índice que puede ser útil en el

seguimiento de los atletas, en el cual una disminución de un 30% respecto a valores previos, alerta respecto al riesgo de una sobrecarga en relación al entrenamiento[20,27].

*Vitaminas*

**A) Vitamina D:** existen receptores de vitamina D (VDR) en casi todas las células del cuerpo, generando efectos sobre la mineralización ósea, el sistemas nervioso, inmune, endocrino, cardiovascular, y muscular, entre otros, e influenciando la expresión de más de 900 variantes de genes. Es monitoreada a través de la 25(OH) Vitamina D, y se busca mantener niveles de al menos 30 ng/mL (o 75 nmol/L). Valores bajo este valor podría tener efectos negativos en la fuerza, masa muscular, capacidad aeróbica e incrementando el riesgo de lesiones[28]. En población atlética se sugieren valores sobre 40 ng/mL (o 100 nmol/L) considerando los mayores requerimientos de esta población, y el hecho de que a partir de un valor mayor a 40 ng/mL es factible almacenar vitamina D en los tejidos adiposo y músculo para su uso futuro[29].

**B) Vitamina B12 (o Cobalamina):** es relevante para el deporte por su impacto en la formación de glóbulos rojos en la médula ósea, mantención de la función inmune, la síntesis de neurotransmisores, entre otras acciones. El nivel de corte inferior varía entre los 170 y 350 pg/mL; no obstante, en atletas se ha visto una influencia negativa en el rendimiento bajo los 400 pg/mL, por lo que sería recomendable mantener niveles sobre este valor. Sin embargo, la sobre suplementación, al parecer no tendría beneficios extras[30]. Es relevante monitorear esta variable, sobre todo en atletas vegetarianos(as), veganos(as) o con bajo consumo de carnes rojas en general.

*Perfiles*

**A) Perfil Bioquímico.**

Refleja una visión general de múltiples aspectos hepáticos, metabólicos, lipídicos, entre otros, donde destacamos los siguientes:

- **Lactato deshidrogenasa (LDH):** enzima catalítica que se encuentra en la mayoría de los tejidos del cuerpo, específicamente en el corazón, hígado, riñones, músculos, células sanguíneas, cerebro y pulmones. Importante en el metabolismo energético anaeróbico, es un reflejo de daño muscular o destrucción de fibras musculares al aumentar su concentración en el torrente sanguíneo[27].
- **Ácido úrico:** es un producto final del metabolismo de las purinas que aumenta después de un ejercicio intenso. Su concentración debería ser estable durante la temporada de competición. Los niveles elevados pueden deberse a un entrenamiento intenso, a una alta demanda de energía y/o al daño de los músculos pequeños como resultado del sobre entrenamiento. El aumento también puede estar relacionado con la ingesta de alimentos ricos en purinas y complementos alimenticios y/o los cambios de peso corporal en los atletas[27].
- **Urea:** producto del metabolismo de las proteínas, formada principalmente en el hígado. Las concentraciones normales de urea en sangre para cargas de entrenamiento óptimas son 5–7 mmol/L (0 a 50 mg/dL). Permite evaluar la asimilación de las altas cargas de entrenamiento, siendo su aumento un marcador de catabolismo proteico y de déficit en mecanismos de recuperación (hidratación, alimentación, sueño, entre otras)[27].
- **Glucosa:** único sustrato energético que funciona exclusivamente para proporcionar energía a las células. Sus niveles durante el ejercicio dependen del estado energético, la ingesta de alimentos, la intensidad del evento y los niveles de almacenamiento de glucógeno. Su baja disponibilidad se asocia con fatiga, por lo que su ingesta y mantención de niveles adecuados es necesaria para el rendimiento[20]. En algunos casos, como deportes de categorías de peso o de bajo componente dinámico, se pueden observar alteraciones derivadas de la resistencia a la insulina[20,31].

### B) Perfil lipídico

Las grasas se utilizan como fuente de energía primaria en eventos de

resistencia o cuando la disponibilidad de carbohidratos es baja. Su utilización durante el ejercicio afecta los perfiles de lípidos al reducir los niveles en reposo de colesterol total y triglicéridos, mejorando así los perfiles de salud cardiovascular[20]. Al igual que la glicemia, el aumento del colesterol y los triglicéridos, puede darse en el contexto de alteraciones metabólicas, sobre todo en deportes de bajo componente dinámico o altas categorías de peso.

*Creatina kinasa (CK) total*

La CK se utiliza como marcador del estado muscular. Es liberada al torrente sanguíneo secundaria a la ruptura o daño de las fibras. Su concentración en sangre aumenta según la intensidad y duración del ejercicio, nivel de entrenamiento, tipo de entrenamiento, entre otras. Valores elevados pueden significar trauma o sobre entrenamiento y su concentración se puede usar para monitorear la actividad de los atletas y realizar el manejo de cargas de entrenamiento[27,32]. Se deben considerar variables como composición corporal (porcentaje de masa magra) y raza del/la atleta para su interpretación individualizada.

*Troponinas*

Es una proteína que regula la función contráctil del músculo y está presente a nivel musculo-esquelético y cardiaco, siendo un marcador de daño de este último. Ha cobrado mayor relevancia en los últimos años ante eventuales consecuencias secundarias al COVID-19[27,33].

*Creatinina*

Producto final del metabolismo muscular. Tiene su origen en la degradación de la creatina muscular. Su eliminación es exclusivamente por filtración glomerular, por lo que es un indicador del funcionamiento renal. Su concentración es relativamente constante y se valora principalmente en contexto de salud del atleta, pudiendo verse afectada por sobre entrenamiento e inadecuados mecanismos de recuperación más que por falla renal[27]. Es importante controlar en casos extremos de

daño muscular como la rabdomiólisis, en que la liberación de sustancias por el musculo dañado es tal que puede sobrepasar la capacidad de filtración y generar daño renal agudo[34].

*Otros exámenes*

Se deben considerar otras valoraciones disponibles de acuerdo al contexto general de cada atleta, entre ellos: orina completa, perfil hepático, Globulina fijadora de hormonas sexuales (SHBG), 17 beta estradiol, Gonadotrofina coriónica sub beta, cinética de fierro, hormona folículo estimulante (FSH), hormona luteinizante (LH), anticuerpos anti gliadina, anticuerpos anti transglutaminasa, anticuerpos, proteína C reactiva, grupo sanguíneo, VIH, VDRL, IgM SARS-Cov-2, IgG SARS-Cov-2, entre otros.

*Monitoreo del sueño*

El sueño cumple múltiples funciones fisiológicas. En relación con el deporte, es el principal período de reposo y regeneración corporal. Permite el refuerzo de nuevos patrones neuronales, la refinación de conexiones sinápticas y la consolidación de la memoria, así como la oscilación de citoquinas inflamatorias y el fortalecimiento del sistema inmune. Varias hormonas presentan un patrón de secreción en relación con el ciclo sueño-vigilia. Dos horas previo al inicio del sueño se secreta melatonina. Durante el comienzo de la noche se inicia la secreción de hormona del crecimiento (HC), testosterona (T) y hormona luteinizante. La HC alcanza su peak durante la primera mitad, mientras que la testosterona lo alcanza durante la segunda mitad para decaer en la mañana. En las últimas horas de la noche se presenta el primer peak de cortisol.

*Trastornos del sueño en atletas*

Se ha reportado que hasta un 78% de los atletas de alto rendimiento presentan alguna alteración del sueño y hasta un 25% ha presentado una condición clínica relevante (ver **Tabla 3**)[35].

**Tabla 3**. Trastornos del sueño encontrados en atletas (Adaptada de Malhotra 2017)[35].

| Trastorno | Factores de riesgo |
|---|---|
| Apnea obstructiva del sueño | IMC elevado, circunferencia de cuello amplia, género masculino |
| Insomnio | Situaciones altamente estresantes, viajes frecuentes y cambios del lugar para dormir, cuadros dolorosos |
| Alteraciones del ciclo circadiano | Viajes frecuentes, cambios de los horarios de entrenamiento |
| Sueño insuficiente | Pobre higiene del sueño, agendas deportivas sobrecargadas |

Muchas de las condiciones propias del alto rendimiento actúan como factores de riesgo para su presentación. Entre los factores que se han asociado con alteraciones del sueño se encuentran[36]:

- Sexo femenino.
- Edad: se ha reportado mayor incidencia en atletas mayores de 25 años.
- Sobre-entrenamiento/déficit energético relativo: las alteraciones del sueño pueden ser parte de las manifestaciones de estos cuadros propios del atleta.
- Entrenamiento y horario de competiciones: algunas disciplinas favorecen el desarrollo de alteraciones del sueño dado las jornadas de entrenamiento en horarios extremos. En este mismo sentido, sesiones de competencia en horarios extremos se han asociado a la dificultad de conciliar el sueño.
- Viajes frecuentes/transmeridianos: el cambio de ambiente de sueño y del huso horario por viajes favorecen su incidencia.
- Deportes individuales: tienen una mayor incidencia y se considera que podría ser por el perfil de entrenamiento y/o la carga emocional asociada a este formato.

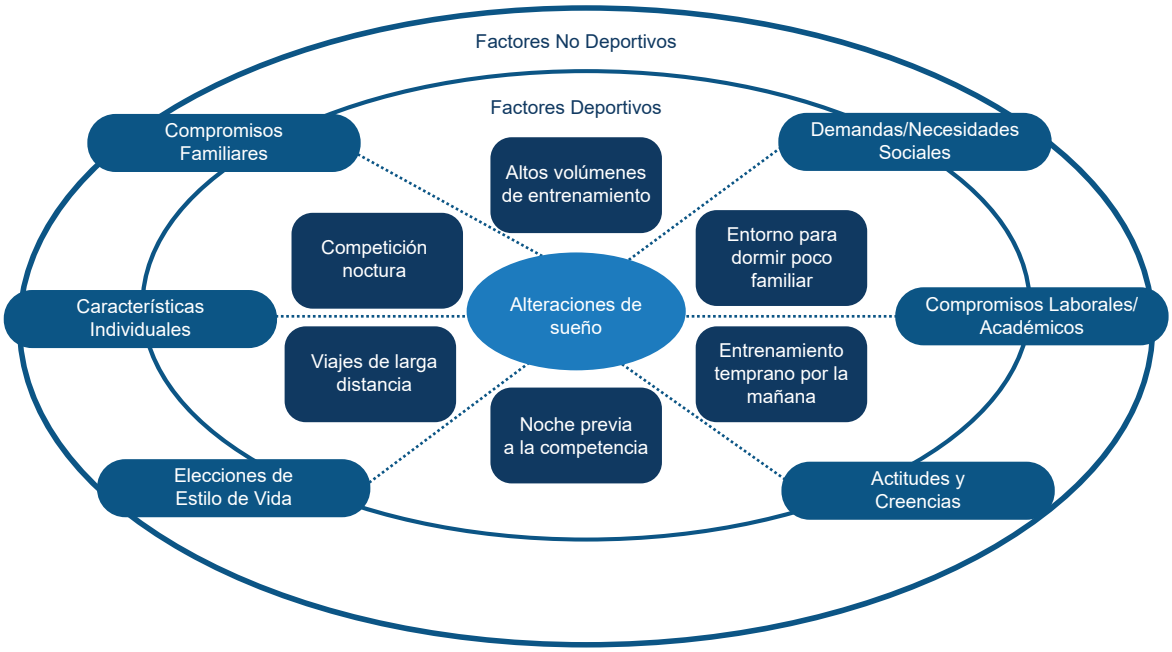



**Figura 3**. Condiciones de riesgo para trastornos del sueño en atletas (Adaptado de Walsh y cols. 2021)[36].

*Efectos sobre el rendimiento deportivo*

Aunque los efectos de la deprivación de sueño sobre el ejercicio no están del todo dilucidados, diversos estudios indican un efecto negativo sobre el rendimiento deportivo. Entre los hallazgos destacan:

- Menor consumo de oxígeno, mayor frecuencia cardíaca y ventilatoria y mayores concentraciones de lactato en valoraciones de capacidad cardiorrespiratoria[37].
- Disminución en indicadores de potencia anaeróbica[38,39].
- Aumento de la percepción subjetiva de esfuerzo.
- Disminución de la fuerza isométrica[40,41].
- Disminución en la reposición de glucógeno muscular.
- Aumento del tono simpático y disminución del tono parasimpático.

Los deportes de esfuerzos sub-máximos sostenidos se verían más afectados que aquellos de esfuerzos maximales cortos dado el perfil de la exigencia fisiológica.

Por otro lado, los trastornos del sueño también se han asociado a[42,43]

- Mayor riesgo de lesión.
- Mayor demanda de suplementos nutricionales.
- Peor perfil de hábitos dietarios.
- Aumento de citoquinas pro-inflamatorias.
- Disminución de la respuesta inmune.
- Menor rendimiento en pruebas de reacción.
- Menor estado de alerta.
- Menor concentración, capacidad de memoria y aprendizaje.
- Mayor riesgo de depresión y ansiedad.
- Aumento de peso corporal.

*Valoración sistemática*

Existen múltiples cuestionarios para aproximarse al estudio de trastornos del sueño. Sin embargo, considerando las particularidades de la población deportiva, se han validado recientemente dos cuestionarios específicos para su uso como herramientas de tamizaje y valoración. Estos son el ASSQ (de Athlete Sleep Screening Questionnaire) y el ASBQ (de Athlete Sleep Behaviour Questionnaire). El **Diagrama 1** a continuación propone un método para su aplicación. La **Tabla 4** detalla cuestionarios para patologías del sueño específicas.

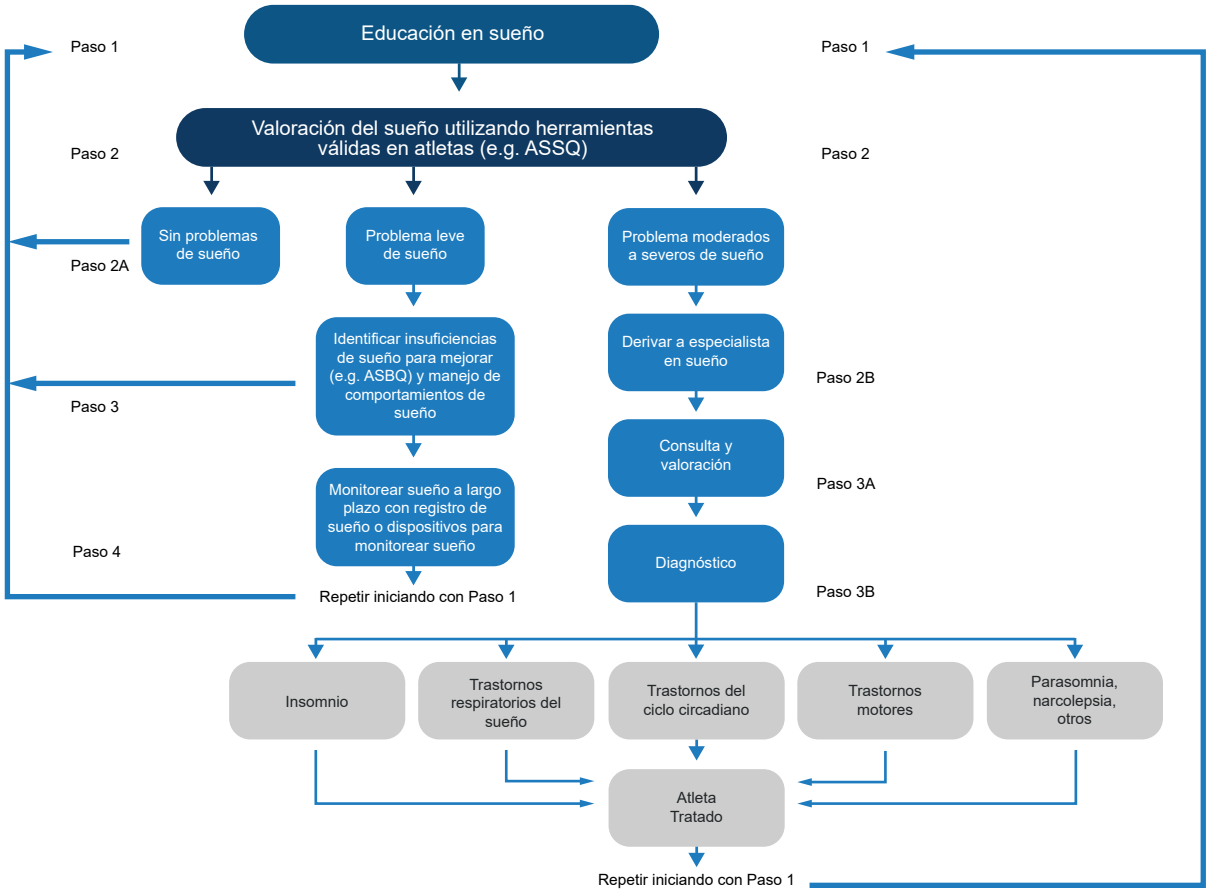



**Diagrama 1**. Afrontamiento de los trastornos del sueño en atletas (Adaptado de Walsh y cols. 2021)[36].

**Tabla 4**. Test de valoración para trastornos del sueño en atletas[35].

| Trastorno del Sueño | Cuestionario(s) de Valoración |
|---|---|
| Apnea obstructiva del sueño | STOP-BANG, Cuestionarios de Berlin |
| Síndrome de piernas inquietas | Criterios del grupo de estudio internacional sobre el síndrome de piernas inquietas |
| Insomnio | Indice de gravedad del insmnio |
| Trastorno del ritmo circadiano | Cuestionarios de Horne-Ostberg, cuestionario de matutino-vespertino |

*Recomendaciones generales*

- Instruir continuamente sobre sueño y sus alcances en el ámbito deportivo a todas las personas involucradas (atletas, entrenadores/as, entre otros). Aplicar de manera específica para las condiciones de cada deporte (ver **Figura 2**).
- Realizar medidas de tamizaje y diagnóstico según corresponda. Realizar la derivación a especialista en caso de ser necesario (ver **Diagrama 1**).
- Considerar estrategias específicas para mejorar la calidad y/o cantidad de sueño según corresponda (siestas, extensión de sueño previo a eventos específicos, entre otras).
- Usar con precaución monitores de sueño, ya que algunos/as atletas podrían responder negativamente en relación con la retroalimentación entregada por el dispositivo.

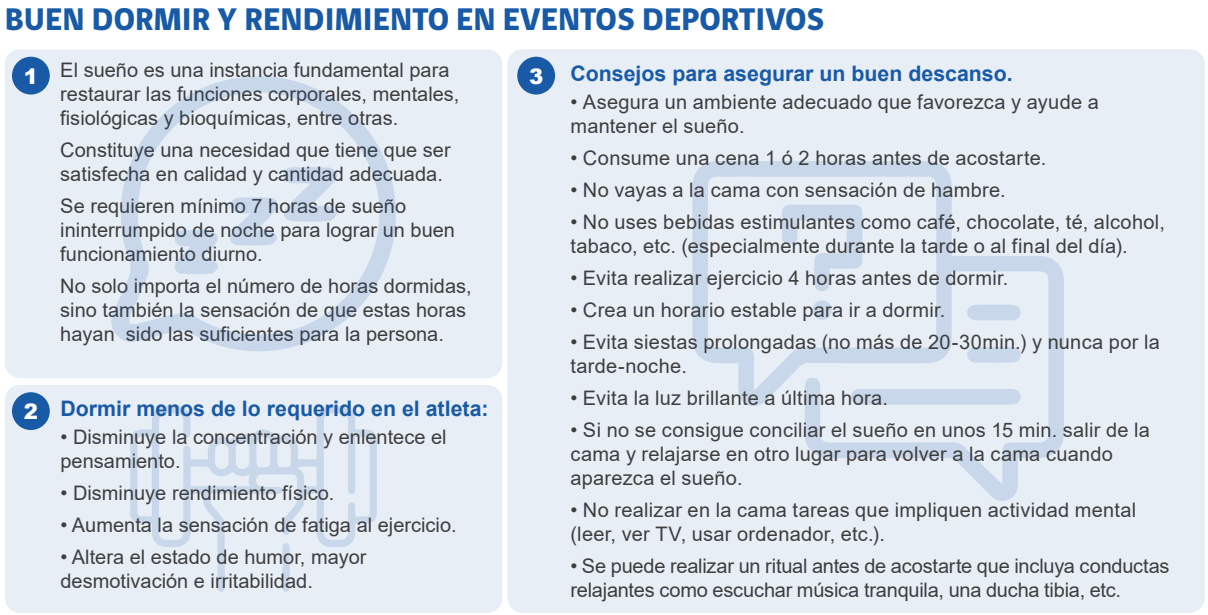



**Figura 4**. Díptico informativo sobre higiene del sueño y deporte UCAD.

## Monitoreo y entrenamiento de la musculatura respiratoria

Se ha descrito una disminución del rendimiento de la musculatura respiratoria durante los esfuerzos de alta intensidad mantenidos por un

período prolongado como consecuencia del mayor trabajo respiratorio, hipoxemia arterial inducida por ejercicio y fatiga muscular respiratoria[44,45]. La musculatura respiratoria tiene un rol importante en períodos de exigencia ventilatoria, por lo que la valoración de distintos parámetros de fuerza de los músculos involucrados puede ser útil para atletas que están sometidos a una carga de estos músculos. Se ha observado que cuando se produce fatiga de la musculatura respiratoria, el rendimiento deportivo puede disminuir por una respuesta ventilatoria inadecuada a las demandas del ejercicio, presencia de taquipnea, sensación de disnea y/o vasoconstricción en la musculatura periférica inducida por el reflejo metabólico de metabolitos en músculos respiratorios[44]. El uso de sistemas de válvula con umbral de presión permite entrenar la musculatura inspiratoria a altas presiones (intensidades) y baja velocidad de manera sencilla, económica y con fácil acceso[46]. Sin embargo, para la prescripción específica del entrenamiento muscular respiratorio, es necesario realizar una valoración de la fuerza muscular respiratoria. Dentro de las múltiples formas de valoración, el uso de pruebas volitivas de medición tiene la ventaja de no ser invasivas, aunque requiere que la persona evaluada coopere realizando su máximo esfuerzo. Dado que el rendimiento de la prueba es mejor en sujetos que tengan más experiencia con la prueba y además, puede verse afectada en algunas condiciones patológicas incluso sin debilidad muscular marcada (como atrapamiento de aire en EPOC)[47], se debe tener en cuenta que las primeras valoraciones podrían no reflejar el rendimiento real del atleta. El protocolo de valoración se detallará en otro documento específico.

*Definiciones*

**Presión inspiratoria máxima (PIM):** presión medida con un pimómetro o similar, que se ejerce desde una espiración máxima (volumen residual) hasta una inspiración máxima mantenida por al menos 1.5 segundos.
**Presión espiratoria máxima (PEM):** presión medida con un pimómetro o similar, que se ejerce desde una inspiración máxima (capacidad pulmonar total) hasta una espiración máxima mantenida por al menos 1.5 segundos.

**Válvula umbral:** dispositivos que permiten el paso de aire a presión constante en una sola dirección, independiente del flujo de aire. Son de uso personal, deben lavarse diariamente de acuerdo a las indicaciones del fabricante y tienen la posibilidad de regular la presión en cmH2O que permite ejercer aumento de resistencia a la inspiración y/o espiración de manera graduada.
**Frecuencia:** parámetro de prescripción que implica n° de veces al día o a la semana en que se realiza un entrenamiento muscular respiratorio.
**Intensidad:** Porcentaje del PIM o PEM al que se ajusta la carga de una válvula umbral, por lo que es requisito evaluar PIM y PEM antes de iniciar un entrenamiento muscular respiratorio. Generalmente está medido en $cmH_2O$.

*Utilidad clínica*

La valoración de fuerza muscular respiratoria es un parámetro útil para diagnosticar debilidad de musculatura respiratoria[47]. Esto es particularmente útil en personas en estudio de cuadros de disnea, tos débil o enfermedades que cursen con debilidad de musculatura respiratoria. En este último caso, se debe considerar a atletas con enfermedades neuromusculares (e.g., distrofias musculares y polineuropatías periféricas) y aquellos con lesión medular que compromete musculatura respiratoria[48]. En el caso de aquellos con escoliosis idiopática, a la fecha es reconocido que escoliosis severas >60° se asocian a alteración ventilatoria con ejercicio[49]. No obstante, el rol de curvaturas leves a moderadas es más incierto. Pese a que la rotación de cuerpos vertebrales genera cambios en los diámetros de la caja torácica y podría alterar la mecánica respiratoria, los estudios realizados en escoliosis leve a moderada no son en población físicamente activa y se atribuye a esta misma condición la menor función respiratoria[49]. Dada la condición de deporte de alto rendimiento, se sugiere que todos los atletas con escoliosis leve a moderada sean monitoreados de igual forma en su fuerza muscular respiratoria al menos una vez al año o en caso de presentar alteraciones en alguna prueba espirométrica.

*Utilidad general en atletas*

Diversas revisiones sistemáticas han evaluado la efectividad del entrenamiento muscular respiratorio o el entrenamiento muscular inspiratorio como una forma de mejorar el rendimiento en atletas[46,50,51]. En el caso de los atletas sin sospecha de debilidad muscular respiratoria, se debe valorar la utilidad de la medición de pruebas de fuerza muscular respiratoria. Pese a que tradicionalmente el sistema respiratorio no se ha considerado un factor limitante durante el ejercicio, se ha descrito una disminución del rendimiento de la musculatura respiratoria durante los esfuerzos de alta intensidad mantenidos por un período prolongado. Esto sería consecuencia del mayor trabajo respiratorio, hipoxemia arterial inducida por ejercicio y fatiga muscular respiratoria, lo que podría asociarse a una disminución del rendimiento global[44,45]. Además de la fatiga de músculos respiratorios dada por el esfuerzo sostenido, se ha reportado fatiga incluso en ejercicios de alta intensidad y corta duración[52]. Además, se debe considerar que aquellos que utilizan las extremidades superiores presentan mayor sobrecarga de los músculos respiratorios, como es el caso de remo, la natación y deportes en silla de ruedas, entre otros[53].

*Indicaciones*[46,50,51,54]

Existen indicaciones clínicas en quienes se podrá considerar como una **valoración primaria**:

- Sospecha de debilidad muscular respiratoria, por ejemplo, en cuadros de disnea, tos débil o enfermedades que cursen con debilidad de ésta (como enfermedades neuromusculares y escoliosis severa).
- Escoliosis leve a moderada*.
- Control de debilidad muscular respiratoria documentada (lesión medular alta, enfermedades neuromusculares).
- Capacidad vital disminuida en espirometría.

Por otro lado, se sugiere su uso como **valoración secundaria** en el contexto de la prescripción de entrenamiento muscular respiratorio para los siguientes deportes:

- Deportes que requieran de un esfuerzo aeróbico sostenido (e.g., ciclismo ruta, pruebas de medio fondo y fondo, entre otros).
- Deportes de esfuerzos intermitentes (e.g., balonmano, hockey césped, entre otros).
- Deportes que utilicen principalmente sus extremidades superiores en forma sostenida o intermitente (e.g., rugby en silla de ruedas, remo, natación).
- Deportes que entrenen en ambientes hipóxicos.
- Deportes o entrenamientos que incluyan carga de peso a una carga constante (e.g., carga de mochilas o chalecos lastrados).

*Contraindicaciones*

Las contraindicaciones documentadas en protocolos ministeriales para la evaluación de PIM y PEM incluyen:

- Neumótorax (hasta el mes desde el diagnóstico).
- Lesión medular aguda (hasta el mes desde el diagnóstico).
- Lesión ocular (hasta el mes desde el diagnóstico).
- Postoperatorio de cirugía abdominal o genitourinaria (hasta el mes desde el procedimiento).
- Ōrtesis dentales fijas.
- Poca cooperación del evaluado o incapacidad de realizar la prueba por debilidad, dolor, fiebre, disnea, falta de coordinación o proceso psiquiátrico agudo.

Como contraindicaciones relativas y/o precauciones, y en base al consentimiento del paciente, se pueden incluir:

- Incontinencia urinaria de esfuerzo.
- Hipotonía de musculatura facial.

*Entrenamiento crónico con válvula umbral*

- Se realiza generalmente en reposo, en sesiones separadas del entrenamiento.

**Protocolo continuo básico:**

- Frecuencia: iniciar con 2 sesiones diarias (AM y PM), al menos 3 días por semana.
- Intensidad: iniciar con 40% de PIM. Considerar 30% PIMáx. en caso de atletas con enfermedades neuromusculares.
- Volumen: 30 respiraciones cada sesión.
- Progresión: existen distintos métodos de progresión.
  Aumento gradual cada 4 semanas o aumentar progresivamente la intensidad hasta obtener no más de 30 respiraciones, pudiendo llegar hasta el 80% del PIM. Idealmente no aumentar más de 10% por período de progresión.
- Monitoreo: monitoreo de PIM y PEM a las 2 semanas por eventuales cambios asociados al acoplamiento excitación-contracción. Luego considerar cambios en las variables cada 6 a 12 semanas.

*Protocolo "Task – Failure"*

- Definir el volumen en base a el momento en que se alcanza la falla de la tarea (incapacidad de generar la presión solicitada, incapacidad de mantener la ventilación por minuto, volumen corriente o frecuencia respiratoria).
- Ratio progresivo de trabajo - descanso: la sesión se vuelve progresivamente más difícil hasta que no se puede completar.
  Intensidad: inicio al 80% de PIM.
- Volumen: incrementos progresivos de trabajo/reposo. En el protocolo de Mickleborough se utilizan clústeres de 6 respiraciones, con descansos variables entre respiraciones para cada clúster de la siguiente forma:

**Clúster A:** 1 min de descanso entre respiraciones.
**Clúster B:** 45 segundos de descanso entre respiraciones.
**Clúster C:** 30 segundos de descanso entre respiraciones.
**Clúster D:** 15 segundos de descanso entre respiraciones.
**Clúster E:** 10 segundos de descanso entre respiraciones.
**Clúster F:** 5 segundos de descanso entre respiraciones.

El trabajo se realiza hasta completar el protocolo o hasta la fatiga, donde no se logre realizar el trabajo solicitado. Dado que utiliza un dispositivo específico, este protocolo se utiliza de forma avanzada y permita mostrar la imposibilidad de mantener el 90% del trabajo, implicando el ajuste de carga casi a diario. Por dificultades para su práctica, se sugiere sólo utilizar una adaptación de este protocolo en casos avanzados donde el entrenamiento convencional resulte muy simple o no haya logrado resultados.

**Frecuencia: 3 veces a la semana**

*Protocolo interválico tipo sprint*

- Protocolo de Schaer y cols. que se propone para casos en que se requiera un entrenamiento más intenso. No cuenta con revisiones específicas sobre su efectividad, sólo con estudios de los propios autores que lo comparan con entrenamientos a resistencia continua por 30 minutos. Por lo tanto, este tipo de entrenamiento cuenta con poca evidencia y tiende a ser más tiempo requirente comparado con el protocolo continuo básico. El protocolo es ajustado por flujo (no por presión) y se requiere dispositivos especiales. Dada la dificultad en su implementación, se invita a las personas interesadas a acudir al material original[55].

*Protocolo de uso pre entrenamiento/precompetencia*

- Realizado en los calentamientos antes de un entrenamiento o competencia[46].
- Se realizan 2 sesiones consecutivas de 30 respiraciones por sesión al 40% de PIM. Tiene descansos de 1 minuto entre

sesiones. Considerar 30% PIMáx. en caso de atletas con enfermedades neuromusculares.

*Interpretación de resultados*

Los resultados pueden analizarse en términos de fuerza muscular respiratoria, parámetros de percepción subjetiva de esfuerzo y pruebas de rendimiento específico. De éstos, la valoración de fuerza muscular respiratoria en general tiene modificaciones modestas tras el entrenamiento (PIM y PEM mejoran entre un 7 a un 17%) y tiene mayor relevancia realizar mediciones específicas de rendimiento. Al respecto, se sugieren los siguientes tipos de valoraciones pre y post entrenamiento:

- Fuerza muscular respiratoria: con el objetivo de valorar/monitorear necesidad de aumentos de carga.
- Percepciones subjetivas: percepción subjetiva de disnea ante un esfuerzo a carga constante, percepción subjetiva de esfuerzo a una intensidad constante.
- Pruebas aeróbicas de campo o laboratorio: shuttle run test, valoración de consumo de oxígeno en cinta rodante, entre otras.
- Pruebas de sprint repetidos: Repeated Sprint Ability test, entre otras.
- Pruebas deporte específico que impliquen esfuerzos aeróbicos puros o intensos repetitivos: 30-15 IFT, Yo-Yo Test, toma de tiempos, entre otras.

## Entrenamiento/Competencia en Altura

La característica fundamental en el ambiente de altura es la disminución de la presión barométrica de oxígeno, la que va siendo más pronunciada en la medida que la altura aumenta. A nivel del mar, encontramos una presión barométrica de 760 mmHg, mientras que a 2500 y 3500 metros sobre el nivel del mar (msnm) es de 560 y 493 mmHg, respectivamente. La disminución en la presión barométrica ocasiona una caída en la presión inspirada de oxígeno, afectando cada punto de la cascada transportadora de oxígeno que va desde el aire ambiental hasta la

mitocondria celular, fenómeno conocido como hipoxia hipobárica[56]. Como respuesta a la hipoxia hipobárica, se gatillan una serie de respuestas fisiológicas que, en la gran mayoría de los casos, ayuda al individuo a tolerar y adaptarse a dicha condición ambiental. La **Tabla 5** resumen las adaptaciones fisiológicas temporales a la exposición aguda a la altura[57].

**Tabla 5**. Adaptaciones inmediatas, agudas y sub-agudas a la exposición a la altura y sus efectos esperados (Adaptado de Friedlander y cols. 2008)[57].

| Adaptación | Efecto |
|---|---|
| Inmediatamente después de la llegada | |
| Aumento de FC en reposo y sub-máximo | Circula más sangre a los tejidos |
| Aumento de la ventilación | Mantiene los niveles de oxigeno más altos en la sangre |
| Aumento de la presión arterial | Mejor perfusión de tejidos |
| Aumento liberación de hormonas del estrés | Respuesta general que permite al cuerpo afrontar mejor las tensiones de la altitud |
| Dentro de las 48 hrs posteriores a la llegada | |
| Disminuye volumen de plasma y bicarbonato, aumenta el 2.3 DPG, y la EPO | Aumenta la ventilación, mantiene la concentración de oxigeno más alta en la sangre y mejora el suministro de oxígeno a los tejidos |
| Disminuye FC en reposo, submáxima y máxima (en relacion con la llegada a la altitud | Reduce el trabajo realizado por el corazón |
| Aumenta presión arterial de los tejidos y los pulmones | Mejora la perfusón y la difusión en los tejidos |
| Después de semanas o meses de altitud | |
| Aumento de glóbulos rojos, hemoglobina y hematocrito | Mejora la capacidad de la sangre para transportar oxígeno |
| Disminución de secreción de hormonas del estrés | Disminuye la respuesta al estrés del cuerpo |
| Aumenta vascularización de pulmones y tejidos | Mejora el suministro de oxígeno a los tejidos |

Notas: 2,3 DPG: 2,3 difosfoglicerato; EPO: eritropoyetina.

La principal respuesta a la disminución de la presión alveolar de oxígeno y la baja en el contenido de oxígeno en sangre arterial es un aumento en la respuesta ventilatoria gatillada por los receptores del cuerpo carotideo[58]. Concomitantemente, aumenta el tono simpático, elevando la frecuencia cardiaca, el gasto cardiaco y la presión arterial. También se observa a nivel renal un aumento en la diuresis con un aumento en la excreción de bicarbonato y una retención de protones para compensar la alcalosis respiratoria generada por una mayor eliminación de $CO_2$ y así permitir mantener la respuesta hiperventilatoria. A pesar de lo anterior, el aporte de oxígeno a nivel mitocondrial siempre va a ser menor que a nivel del mar. La **Figura 5** muestra algunas de las variaciones fisiológicas y deportivas de la exposición a altura.

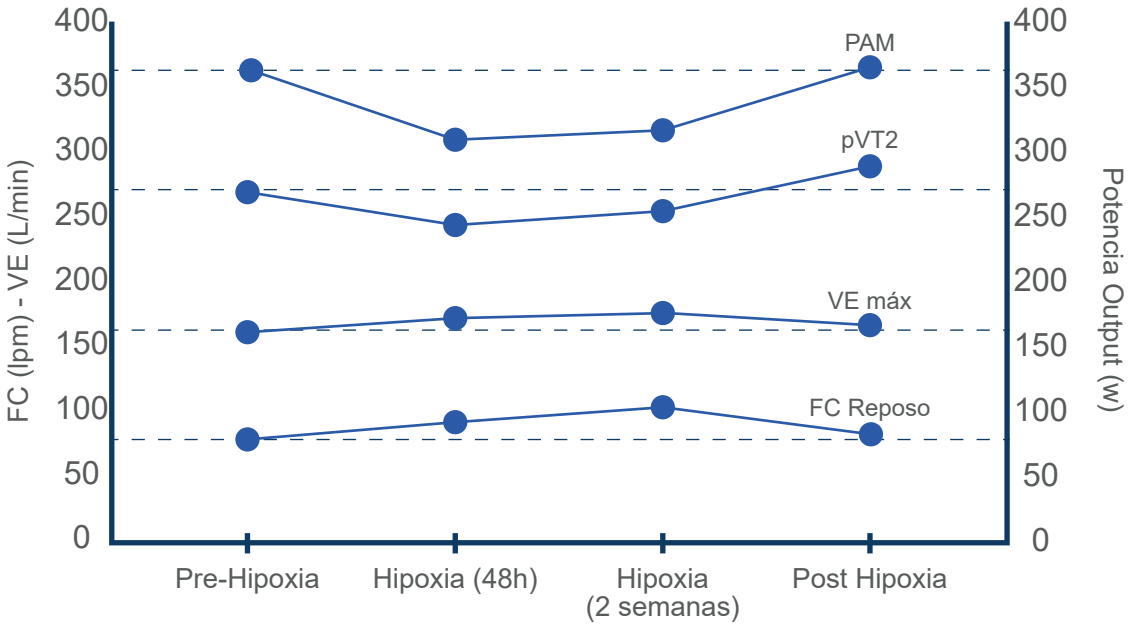



**Figura 5**. Curso temporal de variables fisiológicas y deportivas durante aclimatación sobre 2800 m en Seleccionados Chilenos (datos propios UCAD).

El presente capítulo se enfoca en consideraciones médicas que se deben tener con relación a la exposición aguda a la altura en atletas elite, ya sea con fines de entrenamiento o competencia.

*Consideraciones pre-exposición*

Previo a la altura se deben tomar una serie de medidas con el fin de optimizar el estímulo hipóxico y las adaptaciones esperadas en caso de estadías de entrenamiento o planificar de manera adecuada los tiempos de exposición en los casos de competencias:

**Educación:** generar instancias junto con las delegaciones deportivas con el fin de educar sobre las condiciones de exposición a la altura (efectos esperables y buscados, síntomas y signos de enfermedad aguda de montaña, estrategias de monitoreo médico-deportivas (densidad urinaria, encuesta de bienestar, escala de Lake-Louis, entre otras), optimización temporal de cargas y/o tiempos de competencias. Incluir educación sobre prevención de patologías por exposición solar, frío y calor, así como consideraciones nutricionales pre y durante la estadía. Hacer énfasis en mantener un óptimo estado de salud para exponerse al estrés de la altura y obtener los beneficios de la exposición.

**Monitoreo de estado de salud pre-exposición:** entre 4-6 semanas previo a la exposición a la altura se recomienda una batería básica de variables de laboratorio. De particular interés son el estado de los depósitos de hierro, de vitamina B12 y de vitamina D, junto con un hemograma para valorar el estado de la serie roja hematológica[57-59]. Se pueden agregar estudios según la historia personal de cada atleta. Se deben suplementar aquellas condiciones de déficit. La suplementación de hierro es muy interesante de valorar, considerando el efecto hematopoyético de la altura. No hay consenso en la literatura sobre un punto de corte específico de niveles de ferritina para estadías en altura, pero son deseables niveles de al menos 50 ng/mL[24]. Basados en estudios que mostraron que los niveles de ferritina pre-altura no se asocian a la ganancia de masa de hemoglobina y que habría una mayor respuesta eritrocitaria en atletas suplementados versus no suplementados, existen recomendaciones más agresivas en términos de puntos de corte de ferritina y dosis de suplementación de hierro (ver **Figura 6**). La decisión final se debe tomar caso a caso según las particularidades del/la atleta y la disciplina deportiva.

| Pre-estadía | Durante la estadía | Post estadía |
|---|---|---|
| **4-6 semanas pre-estadía** | **2 semanas previas y durante la estadía** | **Días/semanas post-estadía** |
| **Laboratonio basal previo:**<br>Esencial:<br>- Hemograma.<br>- Cinética de hierro.<br>Considerar:<br>- Masa de HB medida mediante re-inhalación de CO.<br>- Proteína C reactiva para interpretación de estado inflamatorio y valores de ferritina.<br>**Ferritina <35 ng/mL:**<br>- Consultar con medicina del deporte y/o nutricionista deportivo.<br>- Considerar iniciar suplementación con hierro oral inmeditamente apuntando a una ingesta de 100 mg de hierro elemental/día en dosís única.<br>**Ferritina <15 ng/mL y/o sospecha de anemia por déficit de hierro:**<br>- Consultar con medicina del deporte.<br>- Considerar suplementación con hierro EV. | **Ferritina <100ng/ml y sin suplementación de hierro:**<br>- Iniciar 100 mg de hierro elemental/día en dosis única a partir de 2 semanas previo a la estadía.<br>- Progresar a 200 mg de hierro elemental/día en dosis única durante toda la estadía.<br>- En caso de reacciones adversas gastrointestinales, disminuir dosis a 100/150 mg de hierro elemental/día.<br>**Ferritina entre 100 y 130 ng/ml:**<br>- Iniciar 100 mg de hierro elemental/día en dosis única a partir de 2 semanas previo a la estadía y mantener la dosis durante la estadía.<br>**Ferritina >130 ng/ml y/o sospecha de anmeia por déficit de hierro:**<br>- Consultar con medicina del deporte para asesoría individual. Potencialmente suplementación con hierro en dosis bajas o innecesarias. | **Laboratorio basal previo:**<br>Esencial:<br>- Hemograma.<br>- Cinética de hierro.<br>Considerar:<br>- Masa de Hb medida mediante re-inhalación de CO.<br>- Proteína C reactiva para interpretación de estado inflamatorio y valores de ferritina.<br>Ajustes suplementación de hierro individualmente en relación con valores post estadía e individualización. |

**Figura 6.** Tamizaje y suplementación de hierro para atletas en pre, durante y post altura (Adaptado de Stellingwerff y cols. 2019)[59]. CO: monóxido de carbono. Hb: hemoglobina.

## CONSIDERACIONES DURANTE LA EXPOSICIÓN

### *Patologías por altura*

Una de las principales preocupaciones desde el punto de vista médico debe ser el monitoreo de la aclimatación durante la primera semana en altura. Las manifestaciones patológicas vinculadas a la exposición aguda a la altura se presentan de una forma benigna (Mal Agudo de Montaña o MAM) y una maligna con eventual riesgo vital (Edema Pulmonar Agudo de Montaña (EPAM) y/o Edema Agudo Cerebral de Montaña (ECAM)). La prevalencia de MAM a 3000–3500 msnm varía entre un 25 – 40 %. Las

manifestaciones de mayor gravedad (EPAM/ECAM) raramente ocurren a alturas menores de 4000 msnm y su prevalencia entre 4200 y 5500 msnm se estima en un 0.5 a 1.0 %. Sin embargo, se han reportado casos de ECAM a alturas de 2300 msnm. En la realidad latinoamericana, la gran mayoría de las ciudades que realizan eventos deportivos se encuentran bajo los 3000 msnm, siendo la ciudad de La Paz, Bolivia, asentada a una altura de 3600 msnm la que adquiere mayor notoriedad mediática, especialmente durante las competencias internacionales de fútbol profesional. Por este motivo, se profundizará solamente con relación al MAM. Para detalles de las otras patologías por altura consultar otra bibliografía existente[58,60].

## A) Mal Agudo de Montaña / MAM

*Cuadro clínico*

Se caracteriza por síntomas inespecíficos (cefalea, fatigabilidad, insomnio, vértigo/mareos y/o alteraciones gastrointestinales) que se pueden presentar entre las 4-12 horas de arribo a una altura igual o superior a los 2500 msnm en individuos no aclimatados. Estos síntomas son más intensos al segundo día y se resuelven espontáneamente con las medidas apropiadas, entre el tercer y quinto día. Los factores de riesgo para MAM se resumen en la **Tabla 6**. El síntoma cardinal es la cefalea y debe presentar al menos 2 de estas características: i) ser bilateral, ii) de intensidad leve a moderada; iii) aumentar con el esfuerzo físico y/o movimientos e inclinación de la cabeza. Generalmente es descrita como una cefalea explosiva pulsátil bilateral y con evolución oscilante. Otros síntomas como la fotofobia y fonofobia son atípicos y más específicos de migraña. El examen clínico debe ser normal y los exámenes de laboratorio rutinarios no mostrar alteraciones. En el diagnóstico diferencial hay que considerar deshidratación, migraña o jaqueca, infección, hipoglicemia y/o hiponatremia. Los factores de riesgo para presentar esta cefalea de altura son una saturación de oxígeno baja, una baja ingesta de líquidos, ejercicio en altura, antecedentes de migraña y/o uso de anticonceptivos orales con niveles bajos de progesterona.

**Tabla 6.** Factores de riesgo para el desarrollo de MAM[61].

| Riesgo | Descripción |
|---|---|
| Bajo | Individuos sin historia de enfermedad por altura en ascensos hasta 2800 msnm. Ascensos hasta 3000 msnm en itinerarios >2 días, con aumento de la altura de acampada <500 msnm y un día extra para aclimatación cada 1000 msnm de ascenso. |
| Moderado | Individuos con historia de enfermedad por altura en ascensos hasta 2800 msnm en un día. Sin historia de MAM en ascenso>2800 msnm en un día. Todos los individuos con ascensos >500 msnm en la altura de acampada sobre 3000 msnm, pero con un día extra para aclimatar cada 100 msnm de ascenso. |
| Alto | Individuos con historia de MAM y ascendiendo ≥2800 msnm en un día. Todos los individuos con antecedentes de EPAM y/o ECAM. Todos los individuos ascendiendo sobre 3500 msnm en un día. Todos los individuos ascendiendo >500 msnm en la altura de acampada sobre 3000 msnm sin un día extra para aclimatar cada 1000 msnm de ascenso. Ascensos muy rápidos. |

El sueño es de mala calidad en las primeras noches en altura y mejora con la aclimatación. Su prevalencia aumenta con la altura, reportándose en alturas cercanas a los 3500 msnm prevalencias entre el 30 y 40 %. Subjetivamente, se refiere que en el sueño se presenta una sensación de ahogo o apnea, aliviándose al despertar y al realizar varias respiraciones profundas. El principal cambio en la estructura del sueño es una disminución del sueño profundo y una alteración en la continuidad del sueño. Disminuyen la relación tiempo de sueño/tiempo en la cama, la fase REM y la fase de sueño profundo no REM y aumenta la fase de sueño superficial. El MAM puede monitorearse mediante la escala de Lake-Louise (**Tabla 7**), definiendo si se trata de una presentación leve, moderada o severa según la clínica. En caso de MAM severo se debe tener en consideración la posibilidad de un ACEM. El compromiso neurológico será el punto cardinal diferenciador (ataxia, alteración cuali-cuantitativa de consciencia).

**Tabla 7.** Escala de Lake Louise para mal agudo de montaña.

| Escala de Lake Louise | |
|---|---|
| Cefalea | 0 Ausente<br>1 Leve<br>2 Moderada<br>3 Severa |
| Síntomas gastrointestinales | 0 Buen apetito<br>1 Poco apetito o náuseas<br>2 Náuseas moderadas o vómitos<br>3 Náuseas o vómitos severos o incapacitantes |
| Fatiga y/o debilidad | 0 Ausentes<br>1 Leve<br>2 Moderada<br>3 Severa o incapacitante |
| Vértigo/mareos | 0 Ausentes<br>1 Leves<br>2 Moderados<br>3 Severos o incapacitantes |
| Alteraciones del sueño | 0 Duerme como habitualmente lo hace<br>1 No duerme como habitualmente lo hace<br>2 Se despierta muchas veces, sueño nocturno escaso<br>3 No puede dormir |
| **Clasificación mal agudo de montaña** | |
| MAM leve | 1-3 puntos |
| MAM moderado | 4-6 puntos |
| MAM severo | >6 puntos |

*Prevención*

Los individuos con buena respuesta a estadías previas en alturas similares a las que enfrentarán son de bajo riesgo, siendo este el mejor predictor frente a futuras exposiciones. No hay evidencia de que la presencia de alguna patología médica subyacente (asma, diabetes,

enfermedad coronaria) aumente el riesgo de presentar mal de montaña agudo, sin embargo, es recomendable que estén controladas en forma adecuada antes de ascender a la altura.

## I) Medidas no farmacológicas:

- Ascenso lento: menos de 500 msnm/día sobre los 2500 msnm.
- Pre-aclimatación: una exposición en semanas previas a alturas menores de 3000 msnm permite realizar ascensos mayores de 500 msnm día. El riesgo es moderado con una exposición abrupta (1 día) a alturas mayores de 3000 msnm, y alto con ascensos rápidos a alturas mayores de 4000 msnm.
- Evitar consumo de alcohol.
- Evitar ejercicio intenso o sobreesfuerzos.
- Controlar hidratación evitando la hiperhidratación.
- En caso de competencia en altura, la mejor estrategia es arribar 2 semanas previas a la fecha de participación[62].

## II) Medidas farmacológicas:

Se puede utilizar acetazolamida y/o dexametasona para la prevención de MAM. Sin embargo, ambas sustancias se encuentran dentro de la lista prohibida de la WADA, en todo momento para acetazolamida y solo en competencia en caso de la dexametasona. Para detalles de las dosis ver sección *Tratamiento*. Para atletas con antecedentes de MAM leve-moderado una alternativa es el uso de paracetamol y/o ibuprofeno[61]. El uso de fármacos clásicos con carácter de uso profiláctico se recomienda para las personas con perfiles de riesgo moderado a alto. En el contexto deportivo, considerar su uso en el personal de apoyo que cumple funciones relevantes en el desarrollo de las actividades de los atletas.

*Tratamiento*

Se deben tomar medidas generales como corregir la deshidratación e insistir en la higiene del sueño. Se pueden tomar medidas farmacológicas orientadas a los síntomas, tales como:

- Uso de paracetamol y/o AINEs para el manejo de la cefalea.
- Uso de antieméticos para el manejo de las náuseas.
- Uso de hipnóticos para el manejo del insomnio.

En caso de MAM modera-severo que no responde a medidas generales, considerar el uso de fármacos de primera línea y/o descenso en acuerdo con el atleta/entrenador. La **Tabla 8** resume las dosis para la prevención y tratamiento del MAM, EPAM y ECAM. Cabe recordar que el EPAM y ECAM raramente ocurren a alturas menores de 3000 y 4000 msnm, respectivamente, y luego de varios días de exposición, por lo que se les debe poner mayor atención en caso de estadías prolongadas en alturas moderadas hacia arriba[62]. En ambas patologías, la principal medida a tomar es la evacuación del paciente.

**Tabla 8**. Dosis de fármacos para la prevención y tratamiento de enfermedades por altura[61].

| Fármaco | Indicación | Vía | Dosís |
|---|---|---|---|
| Acetazolamida | Prevención MAM, ECAM | Oral | 125mg c/12 hrs |
| | Tratamiento MAM | Oral | 250mg c/12 hrs |
| Dexametasona | Prevención MAM, ECAM | Oral | 2mg c/6 hrs o 4mg c12/hrs |
| | Tratamiento MAM | Oral, IV, IM | 4mg c/6hrs |
| Nifedipino | Prevención/tratamiento EPAM | Oral | ECAM: 8mg una vez, luego 4mg c/6hrs<br>20-30mg de liberación prolongada c/8-12hrs respectivamente |

MAM: mal agudo de montaña; ECAM: edema cerebral agudo de montaña; EPAM: edema pulmonar agudo de montaña; IV: intravenoso; IM: intramuscular.

## Consideraciones post exposición

Basado en evidencia anecdótica (y guiados por evidencia empírica), con el fin de maximizar el rendimiento deportivo en disciplinas de tipo endurance, se debiese planificar participar de las competencias dentro de las 48-72 horas o luego de 14 días de retornar a la altura de origen[63].

*Conclusiones*

En base a todo lo expuesto, la recomendación es que los/las atletas que va a acceder a una altura mayor de 2500 msnm se realicen una valoración médica pre exposición, objetivando antecedentes de síntomas en relación a estadías previas, patologías de base, higiene de sueño, hábitos de hidratación, niveles de hemoglobina y ferritina y saturación de oxígeno basal, entre otras. Considerar medidas profilácticas no farmacológicas y farmacológicas en aquellos casos de riesgo. Durante la estadía, realizar durante los 3 a 5 primeros días monitoreo diarios de síntomas (escala de Lake-Louise), %$SaO^2$ y estado de hidratación. Limitar el ejercicio físico en individuos de alto riesgo o con %$SaO^2$ más bajas que lo esperable a ese nivel de altura. Pesquisar activamente banderas rojas que pudieran alertar sobre alguna condición clínica grave. Considerar el tratamiento con acetazolamida y/o dexametasona en aquellos casos severos y/o que no responden a medidas generales. Considerar el descenso como alternativa terapéutica. En caso de sospecha de EPAM y/o ECAM evacuar al paciente a una altura menor a un centro de alta complejidad.

## Pilar Prevención de Lesiones y Enfermedades

Entendemos la prevención de lesiones como el conjunto de valoraciones que buscan pesquisar activamente factores de riesgo para el desarrollo de patologías en el atleta, con especial interés en condiciones cardíacas, músculo esqueléticas y/o metabólicas derivadas del proceso de entrenamiento, con el fin de retroalimentar y educar al atleta y a su equipo en la adopción de las medidas correctivas correspondientes.

## Valoración pre-participativa

Consiste en la supervisión médica previa a la práctica deportiva, la cual busca detectar lesiones, enfermedades o factores que pongan en riesgo al atleta con el fin de optimizar su rendimiento y promover un ambiente seguro de competición[64]. Los objetivos específicos de la valoración pre-participativa son[65]:

- La detección de cualquier patología cardiovascular asociada a muerte súbita o que esta misma pueda agravarse con la práctica deportiva.
- La determinación de la aptitud deportiva.
- La valoración de enfermedades que requieran una recomendación específica para algún deporte en particular.
- La determinación de la capacidad funcional de cada atleta.

A todo atleta que ingresa al área de medicina deportiva se le realiza una anamnesis, examen físico y exámenes complementarios. La anamnesis tiene por objeto identificar antecedentes mórbidos y quirúrgicos, historia familiar de alguna patología asociada a muerte súbita (e.g., miocardiopatía hipertrófica), síntomas cardiovasculares (e.g., dolor torácico, disnea, palpitaciones, síncope), dolor (e.g., muscular, articular o neuropático), alergias, uso de medicamentos, hábitos deportivos (e.g., trayectoria deportiva, horarios y duración de entrenamientos, estudio o trabajo, calidad del sueño, alimentación e hidratación habitual, uso de sustancias ergogénicas, métodos de recuperación y fatiga post entrenamiento), ánimo y en el caso de atletas de sexo femenino se agregan antecedentes gineco-obstétricos que incluya historia ginecológica, ciclo menstrual y uso de métodos anticonceptivos[66-68]. Además, en el caso de deportes por categorías de peso, estéticos y deportes de resistencia se debe realizar una búsqueda activa del Síndrome de Déficit Relativo de Energía Relacionado con el Deporte (RED-S) en donde se valore el peso, talla, índice de masa corporal (IMC), composición corporal, seguimiento de pauta nutricional, control con nutricionista deportivo en forma regular, variaciones de peso y desórdenes alimentarios[8]. El examen físico debe ser completo y debe dar énfasis en la valoración cardiovascular (e.g., auscultación de soplos cardiacos, presión arterial y pulsos bilaterales), neurológica (e.g., cefalea, parestesias), musculo-esquelética (e.g., marcha, inestabilidad articular, desbalance muscular) y la búsqueda de signos del síndrome de Marfan (e.g., aracnodactilia, ectomorfo, envergadura desproporcionada, pectum

carinatum o excavatum, pie plano, paladar hendido) y estigmas de hipercolesterolemia familiar[69].
Dentro de los exámenes complementarios, destaca el electrocardiograma de reposo de 12 derivaciones, el cual tiene una sensibilidad del 94% (intervalo de confianza 79-98%) para detectar enfermedades cardiovasculares asociadas a muerte súbita[70] y una valoración hematológica inicial (e.g., hemograma, cinética del hierro, perfil tiroideo incluyendo T3, perfil bioquímico, creatinemia, perfil lipídico, testosterona total y libre, cortisol AM, creatina kinasa). Dependiendo de la patología sospechada, también se puede realizar ecocardiografía, prueba cardiopulmonar, Holter de arritmias, cardio-resonancia, estudio electrofisiológico, potenciales evocados o solicitar un estudio genético[71]. En el caso de lesiones musculo-esqueléticas por lo general se complementará con el estudio de alguna imagen (e.g., radiografía, ecografía, resonancia o tomografía). Ante la sospecha de un déficit energético relativo es recomendable solicitar una densitometría (DXA) para composición corporal y densidad mineral ósea[8].

## Valoración Cardiológica

La muerte súbita cardiaca asociada al deporte se define como un evento fatal que acontece de forma natural e inesperada durante la práctica deportiva o en un intervalo de menos de 1 hora de iniciado los síntomas (e.g., dolor torácico, síncope, paro cardiorrespiratorio) en alguien aparentemente sano, aunque algunos investigadores han propuesto un intervalo de hasta 24 horas post ejercicio. Se ha reportado que la etiología cardiaca es la principal causa de muerte súbita en atletas con una incidencia estimada de 1 a 3 por 100.000[64]. Por lo general se describen que las causas de muerte súbita cardiaca en menores de 35 años se relacionan a patología congénita y en mayores de 35 años a coronariopatías secundarias a ateromatosis. Las principales etiologías de muerte súbita cardiaca se describen en la **Tabla 9**.

**Tabla 9**. Etiología cardiaca de muerte súbita asociada al deporte.

| Origen | Etiología |
|---|---|
| Miocardio | Miocardiopatía Hipertrófica |
| | Miocardiopatía Dilatada |
| | Miocardiopatía Arritmogénica |
| | Miocardiopatía No Compactada |
| | Miocarditis |
| Coronarias | Coronariopatía por ateromatosis |
| | Anomalía congénita de las coronarias |
| Canalopatías | Síndrome QT largo |
| | Taquicárdica ventricular catecolaminérgica polimórfica |
| | Síndrome de pre-excitación (Wolff Parkinson White) |
| | Síndrome de Brugada |
| Valvulopatías/Arteriopatías | Prolapso Mitral |
| | Estenosis Aórtica |
| | Disección Aórtica |
| Trauma | Conmmotio Cordis |
| Pericardio | Pericarditis |
| | Taponamiento Cardiaco |

La American Heart Association[72] recomienda realizar a cada atleta una valoración pre participativa cardiológica básica que incluya una anamnesis dirigida a síntomas y signos de patología cardiaca que se asocian a muerte súbita inducida por ejercicio, incluyendo historia familiar de patología cardiaca además de un examen físico completo (**Tabla 10**).

**Tabla 10**. Valoración pre participativa cardiológica básica para atletas acorde a la AHA[72].

| Catorce puntos para la EPPC de atletas competitivos recomendados por AHA |
|---|
| Historia Personal |
| 1- Dolor en el pecho / incomodidad / opresión / presión relacionada con el esfuerzo |
| 2- Síncope |
| 3- Disnea / fatiga o palpitaciones excesivas de esfuerzo e inexplicables, asociadas con el ejercicio |
| 4- Antecedentes de soplo cardiaco |
| 5- Presión arterial sistémica elevada |
| 6- Restricción previa de participación en deportes |
| 7- Estudio cardiológico previo, ordenadas por un médico |
| Historia Familiar |
| 8- Muerte prematura (repentina e inesperada, o no) antes de los 50 años atribuible a una enfermedad cardiaca en uno o más familiares directos |
| 9- Discapacidad por enfermedad cardiaca en pariente cercano de <50 años de edad |
| 10- Miocardiopatía hipertrófica o dilatada, síndrome de QT largo u otras canalopatías iónicas, síndrome de Marfán o arritmias clínicamente significativas; conocimiento específico de ciertas afecciones cardiacas en miembros de la familia. |
| Examen Físico |
| 11- Soplo cardiaco |
| 12- Pulsos femorales para excluir la coartación aórtica |
| 13- Estigmas físicos del síndrome de Marfán |
| 14- Presión arterial de la arteria braquial (posición sentada) |

De acuerdo con las recomendaciones de la American Medical Society for Sports Medicine[68] y la European Society of Cardiology[73], en atletas de alto rendimiento que cuentan con el apoyo de un área de Medicina Deportiva, la anamnesis y el examen físico se complementan con un electrocardiograma (ECG) de reposo. La **Tabla 11** describe los hallazgos normales y anormales de un ECG en un atleta y la **Tabla 12** describe el manejo ante hallazgos anormales. La ecocardiografía es otra herramienta imagenológica muy utilizada en la valoración pre participativa en atletas de alto rendimiento. Esta técnica de imagen es útil en el diagnóstico de miocardiopatías, cardiopatía isquémica, valvulopatías y anomalías congénitas de las coronarias. En alto rendimiento, se recomienda realizar al menos un examen

eco-cardiográfico durante la adolescencia y luego repetirlo según requerimientos propios del atleta, entrenador o área de medicina deportiva[74]. La cardio-resonancia es otra técnica de imagen más avanzada que se reserva para investigar hipertrofias ventriculares que no clasifican como fisiológicas, disquinesias regionales del miocardio y detección en el electrocardiograma de patrones poco comunes de T negativa, infra desniveles de ST y bloqueos de rama izquierda. A su vez, ante la sospecha de una anomalía congénita de las arterias coronarias, el examen de elección es una angiotomografía coronaria. En el caso de diagnosticar una cardiopatía, los atletas son sometidos a estudio genético, una prueba cardiopulmonar y un Holter de arritmias para estratificar el riesgo de su patología y determinar la aptitud deportiva. En casos extremos se puede recurrir a una biopsia endomiocárdica[75].

Finalmente, la prueba cardiopulmonar es otra herramienta muy utilizada en Medicina del Deporte y en Cardiología para determinar la capacidad funcional de los/las atletas en conjunto con el área de Fisiología Deportiva (e.g., consumo máximo de oxígeno y umbrales ventilatorios), detectar isquemia miocárdica (e.g., infra o supradesnivel de ST) y arritmias asociadas con muerte súbita (e.g., taquicardia ventricular catecolaminérgica polimórfica)[76].

**Tabla 11**. Hallazgos en el electrocardiograma del atleta.

**Hallazgos normales en el ECG del atleta**
Estas alteraciones del ECG relacionadas con el entrenamiento son parte de las adaptaciones fisiológicas al entrenamiento y se consideran como variantes normales en atletas y no requieren estudio complementario en ausencia de síntomas o antecedentes familiares.

| Alteración en el ECG | Definición |
|---|---|
| Incremento del voltaje en QRS (Sokolow HVI) | Criterio para VI: QRS (SV1 + RV5 o RV6 > 3.5 mV) o Criterio para VD: (RV1 + SV5 o SV6 > 1.1 mV) |
| BIRD | rSR′ en V1, qRS en V6 y QRS < 120 ms |
| Repolarización Precoz | Elevación del punto J, elevación del segmento ST, ondas J o parte final del QRS con mella |
| Repolarización Precoz en atleta de raza negra | Elevación del punto J con ST convexo en “domo” seguido de T (-) en V1-V4 |
| T juvenil | T (-) V1-V3 < 16 años |
| Bradicardia Sinusal | ≥ 30 lpm |
| Arritmia Sinusal | Frecuencia cardiaca varía con la respiración. Aumenta inspiración y disminuye en espiración. |
| Marcapaso ectópico | Ondas P de diferentes morfologías al compararlas con P sinusal. |
| Ritmo Idioventricular (de escape de la unión) | Frecuencia de disparo de QRS es más rápida que P, por lo que P puede no verse, estar negativa o incluida en QRS. Típicamente tiene una frecuencia menor a 100 lpm con un complejo QRS estrecho, a menos que conduzca con aberrancia. |
| Bloqueo AV 1° | PR entre 200 ms y 400 ms |
| Bloqueo AV 2° tipo I | PR se alarga progresivamente hasta que una P no conduce |

**Hallazgos borderline en el ECG del atleta**
Estos hallazgos de manera asilada no representan una condición patológica en atletas, pero la presencia de 2 o más requiere estudio complementario.

| Alteración en el ECG | Definición |
|---|---|
| Desviación izquierda del eje | Entre -30° y -90° |
| Dilatación aurícula izquierda | P > 120 ms en I o II, con porción negativa de P ≥ 1 mm en profundidad y ≥ 40 ms de duración en V1 |
| Desviación derecha del eje | > +120° |
| Dilatación aurícula derecha | P ≥ 2.5 mm en II, III o aVF |
| Bloqueo completo de rama derecha (BCRD) | rSR′ o rR′ en V1, S más ancha que R en V6 y QRS ≥ 120 ms |

## **Tabla 12**. Evaluación de hallazgos anormales en el ECG del atleta.

| Alteración ECG | Patología Cardiaca potencial* | Valoración mínima recomendada** | Consideraciones |
|---|---|---|---|
| T (-) lateral o inferolateral | HCM<br>DCM<br>LVNC<br>ARVC<br>Miocarditis | Ecocardiograma<br>CardioRM<br>Prueba de Esfuerzo<br>Holter | T (-) lateral o inferolateral es común en enfermedades primarias del miocardio. CardioRM debería ser empleado de forma rutinaria para esta alteración en el ECG, ya que es superior en la detección de HCM apical, hipertrofia en pared lateral libre, ARVC y miocarditis versus Ecocardiograma. Si CardioRM no está disponible, se debe considerar Ecocardiograma con contraste como alternativa para HCM apical en pacientes con T (-) profunda en V5-V6. Considerar monitorear a familia y estudio genético. Si resultados son normales, mantener monitoreo anual del atleta. |
| T (-) inferior | HCM<br>DCM<br>LVNC<br>Miocarditis | Ecocardiograma | Considerar CardioRM en base a sospecha diagnóstica. |
| T (-) anterior† | ARVC<br>DCM | Ecocardiograma<br>CardioRM<br>Prueba de Esfuerzo<br>Holter<br>Potencial Evocado | El estudio complementario varía de acuerdo con la sospecha clínica. |
| Infradesnivel ST | HCM<br>DCM<br>LVNC<br>ARVC<br>Miocarditis | Ecocardiograma | Considerar CardioRM y pruebas adicionales en base a los hallazgos clínicos y la sospecha diagnóstica. |
| Ondas Q patológicas | HCM<br>DCM | Repetir ECG en caso de patrón septal QS (V1-V2) | Considerar CardioRM (con contraste si está |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | LVNC<br>Miocarditis<br>Infarto Antiguo | Ecocardiograma<br>Factores de Riesgo | disponible) en base a los hallazgos del Ecocardiograma o según la sospecha clínica.<br>En ausencia de CardioRM, considerar Prueba de Esfuerzo, Eco de stress con dobutamina o SPECT. |
| Bloqueo completo de rama izquierda | DCM<br>HCM<br>LVNC<br>Sarcoidosis<br>Miocarditis | Ecocardiograma<br>CardioRM con contraste | Derivar a Cardiología para un estudio completo. |
| Retraso inespecífico de la conducción intra-ventricular | DCM<br>HCM<br>LVNC | Ecocardiograma | Considerar pruebas adicionales en base a los hallazgos clínicos y la sospecha diagnóstica. |
| Extrasístoles Ventriculares múltiples | HCM<br>DCM<br>LVNC<br>ARVC<br>Miocarditis<br>Sarcoidosis | Ecocardiograma<br>Holter<br>Prueba de Esfuerzo | Si Extrasístoles Ventriculares > 2000 o aparece una taquicardia ventricular no sostenida, considerar CardioRM para estudio de miocardiopatías.<br>Considerar Potenciales Evocados. |
| Pre-excitación Ventricular | WPW | Prueba de Esfuerzo<br>Ecocardiograma | Cese abrupto de onda Delta en prueba de esfuerzo = bajo riesgo.<br>Se debe considerar estudio electrofisiológico si vía accesoria de bajo riesgo no puede confirmarse en pruebas no invasivas.<br>Considerar estudio electrofisiológico en deportes de intensidad moderada y alta. |
| QTc prolongado | LQTS | Repetir ECG otro día<br>Revisar medicamentos que prolonguen QT<br>ECG en familiares de 1er grado | Considerar Prueba de Esfuerzo, electrolitos plasmáticos; estudio genético y de familia si la sospecha es alta.<br>Considerar derivación directa con Arritmólogo o con Cardiólogo del Deporte si QTc ≥ 500 ms. |
| Brugada Tipo 1 | Síndrome de Brugada | Derivar a Cardiología (Arritmólogo) | Considerar recolocación alta de V1 y V2 en 2° espacio intercostal o utilizar bloqueador del canal de sodio si el patrón de Brugada no es claro.<br>Considerar estudio genético y de familiares de 1er grado. |
| Bradicardia sinusal profunda | Miocardiopatía o alteración eléctrica | Repetir ECG post ejercicio | Considerar pruebas adicionales en base a los hallazgos clínicos y la sospecha diagnóstica. |
| Bloqueo AV profundo 1° | Miocardiopatía o alteración eléctrica | Repetir ECG post ejercicio<br>Prueba de Esfuerzo | Considerar pruebas adicionales en base a los hallazgos clínicos y la sospecha diagnóstica. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Bloqueo AV avanzado de 2° o 3° | Miocardiopatía o alteración eléctrica | Ecocardiograma<br>Holter<br>Prueba de Esfuerzo | Considerar pruebas de laboratorio y CardioRM según sospecha. |
| Taquiarrtimias auriculares | Miocardiopatía o alteración eléctrica | Ecocardiograma<br>Holter<br>Prueba de Esfuerzo | Considerar CardioRM o estudio electrofisiológico según la sospecha. |
| Arritmias Ventriculares& | Miocardiopatía o alteración eléctrica | Ecocardiograma<br>CardioRM<br>Holter<br>Prueba de Esfuerzo | Valoración en Cardiología con Arrtimólogo. |
| ≥ 2 Hallazgos Borderline | Miocardiopatía | Ecocardiograma | Considerar pruebas adicionales en base a los hallazgos clínicos y la sospecha diagnóstica. |

* Esta lista representa las causas más comunes, pero pueden existir otras. ** Valoración inicial que debería ser realizada en un servicio de Cardiología. Valoraciones adicionales se realizarán de acuerdo con los hallazgos clínicos y la sospecha diagnóstica en la presencia de síntomas o antecedentes familiares de patología cardiaca. + Excluye variante de Repolarización en atletas de raza negra y adolescentes ≤ 16 años. & Incluye parejas, tripletes, ritmo ventricular acelerado y taquicardia ventricular no sostenida. HCM: Miocardiopatía Hipertrófica. DCM: Miocardiopatía Dilatada. ARVC: Miocardiopatía Arritmogénica. LVNC: Miocardiopatía No Compactada. WPW: Wolff Parkinson White. LQTS: Síndrome QT largo.

## Valoración Neurológica

Dentro de la valoración neurológica pre participativa inicial es de relevancia detectar condiciones neurológicas que puedan limitar la práctica deportiva o que conlleven a un mayor riesgo de lesión si se sigue practicando el deporte. Condiciones de esta esfera incluyen a la conmoción cerebral y al síndrome post conmoción cerebral, lesiones de la médula espinal (e.g., neuropraxia cervical), lesiones del plexo braquial, trastornos de epilepsia y cefaleas. Es de gran importancia valorar el examen neurológico en aquellos atletas con antecedentes de algún traumatismo encéfalo cráneo, concusión o en deportes con alto riesgo de colisión (e.g., rugby). Esta valoración neurológica debiese incluir[77]:

- Anamnesis que detalle historia de traumatismos y conmociones cerebrales previas (e.g., número, sintomatología, mecanismo lesional, tiempo de recuperación y tiempo entre lesiones).
- Uso de medicamentos (e.g., somníferos, corticoides).
- Antecedentes de comorbilidades (e.g., déficit atencional, problemas de aprendizaje, alteraciones de sensibilidad, antecedentes personales o familiares de migraña y trastornos del ánimo).
- Examen físico que incluya valoración de los pares craneales, función motora y sensorial, reflejos, función cognitiva y cerebelosa.

**Valoración Musculo-esquelética**

Parte de la valoración inicial del atleta incluye un test musculo-esquelético dirigido y asociado al deporte que practica. Se realizará una anamnesis completa y examen físico para valorar antecedentes de lesiones, tratamientos ortopédicos o quirúrgicos, antecedentes de hiperlaxitud, uso de plantillas, rangos de movimiento articular, alineamiento, discrepancia de extremidades inferiores y valoración de la fuerza. La anamnesis por si sola tiene un 92% de sensibilidad para detectar lesiones del sistema musculo-esquelético[78]. Además, se valorarán los riesgos de lesión en forma individualizada, considerando edad, antecedentes de lesiones previas, déficit de fuerza y desbalances musculares, estabilización lumbo-pélvica, patrones motores alterados, flexibilidad, postura, fitness cardiorrespiratorio, nivel de fatiga en relación con el entrenamiento, métodos de recuperación, nutrición, hidratación del atleta, carga de trabajo en relación con el período de entrenamiento y factores ambientales y psicosociales. También se hará una búsqueda activa según las lesiones más frecuentes de cada deporte en forma individualizada[79].

**Consideraciones en el Atleta con COVID-19 (confirmado o sospecha)**

Durante los años 2020 y 2021 se ha reportado un creciente número de casos de atletas infectados por SARS CoV-2. Por el riesgo de

complicaciones cardiovasculares, como miocarditis, pericarditis, elevación de enzimas cardiacas, alteraciones de la coagulación y daño endotelial, se propone un monitoreo post enfermedad asintomática o sintomática a todo atleta que haya presentado PCR (+). Esta valoración pre participativa consiste en una anamnesis completa que detalla la duración de los síntomas, contagiosidad y repercusiones de la enfermedad (e.g., hospitalización o requirió apoyo ventilatorio). Esta valoración se complementa con test cardiológico y exámenes, electrocardiograma y ecocardiograma de reposo y se determinará en forma individualizada la necesidad de exámenes de sangre complementarios (e.g., cardio resonancia)[80]. Es importante educar al atleta sobre inicio gradual del entrenamiento y posibles repercusiones (e.g., fatiga, dolores musculo-esqueléticos, hiperreactividad bronquial).

## Broncoconstricción inducida por ejercicio

*Especial agradecimiento a Juan Manuel Guzmán por su sustancial colaboración en este importante tópico.

Existe una mayor prevalencia en atletas de afecciones respiratorias, describiéndose mayor prevalencia de asma, broncoconstricción inducida por ejercicio (BIE), rinitis alérgica o no alérgica, tos crónica, disfunción laríngea inducida por ejercicio e infecciones respiratorias recurrentes. En el caso del asma, su característica principal es la hiperreactividad bronquial (HRB), en que existe una mayor disposición a la broncoconstricción en respuesta a algunos factores externos. Aunque el diagnóstico de asma suele realizarse en personas jóvenes, puede presentarse en cualquier etapa de la vida e incluso recurrir en aquellos que tuvieron una remisión del asma en edades adolescentes.

### *Criterios clínicos para sospecha diagnóstica*

La prevalencia de BIE en personas asmáticas es cercana al 70-90%, sin embargo, entre un 5 a 20% de personas sin asma presenta BIE. Por lo tanto, la ausencia de asma no es criterio para descartar una BIE. Los siguientes síntomas durante o después del ejercicio han sido descritos como parte de la BIE en atletas:

- Tos durante o después del ejercicio (“tos de camarín”).
- Sibilancias.
- Sensación de “pecho apretado”.
- Disnea.
- Secreción mucosa excesiva o menor tolerancia al ejercicio.
- Tos posterior al entrenamiento.
- Incapacidad de mantener el ritmo de los compañeros o una conducta evitativa hacia el entrenamiento.

En general, la BIE se resuelve en forma espontánea dentro de los 30-90 minutos posteriores a la interrupción del ejercicio. Dentro de la sintomatología descrita, existen algunos aspectos clínicos que aumentan la probabilidad de un diagnóstico de BIE con asma:

- Empeoramiento de los síntomas durante la noche y la madrugada.
- Variación de los síntomas y su intensidad con el tiempo.
- Desencadenarse frente a infecciones virales, irritantes y alérgenos.

*Confirmación diagnóstica*

Se ha descrito que no existe asociación entre los síntomas respiratorios y los cambios en el calibre de las vías respiratorias por broncoconstricción en atletas, lo que lleva a la necesidad de confirmación con exámenes (ver **Figura 7**). Debido a que es importante diferenciar BIE con asma (BIEa) de BIE sin asma (BIEsa), se sugiere como primera medida diagnóstica identificar o descartar la presencia de asma. En este caso, se sugiere el uso de espirometría de acuerdo a las guías de la Iniciativa Global para el Asma (GINA)[81]. Considerando la alta prevalencia en atletas, además de la existencia de tratamientos efectivos contra los cuadros, debiese realizarse tamizaje en la mayor cantidad de atletas posibles en la medida que los recursos lo permitan. Para efectos del lineamiento de la Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte, se considerará como valoración secundaria en aquellos atletas

con alta sospecha de presentar BIEs o BIEsa. En caso de que se confirme la presencia de asma, se procederá al manejo de acuerdo con las guías GINA. En caso de descartarse la presencia de asma, se procederá a descartar la presencia de BIE por medio de pruebas de provocación bronquial. Dentro de éstas, la prueba de hiperpnea voluntaria eucápnica (HVE) se considera como la más adecuada a realizar, sin embargo, su disponibilidad es más acotada. Para una mejor descripción de la prueba se sugiere ir a la publicación base referenciada. Considerando su mayor disponibilidad, se sugiere como p rueba diagnóstica de BIEsa la realización de la valoración de provocación con ejercicio bajo el protocolo que se sugiere a continuación[82].

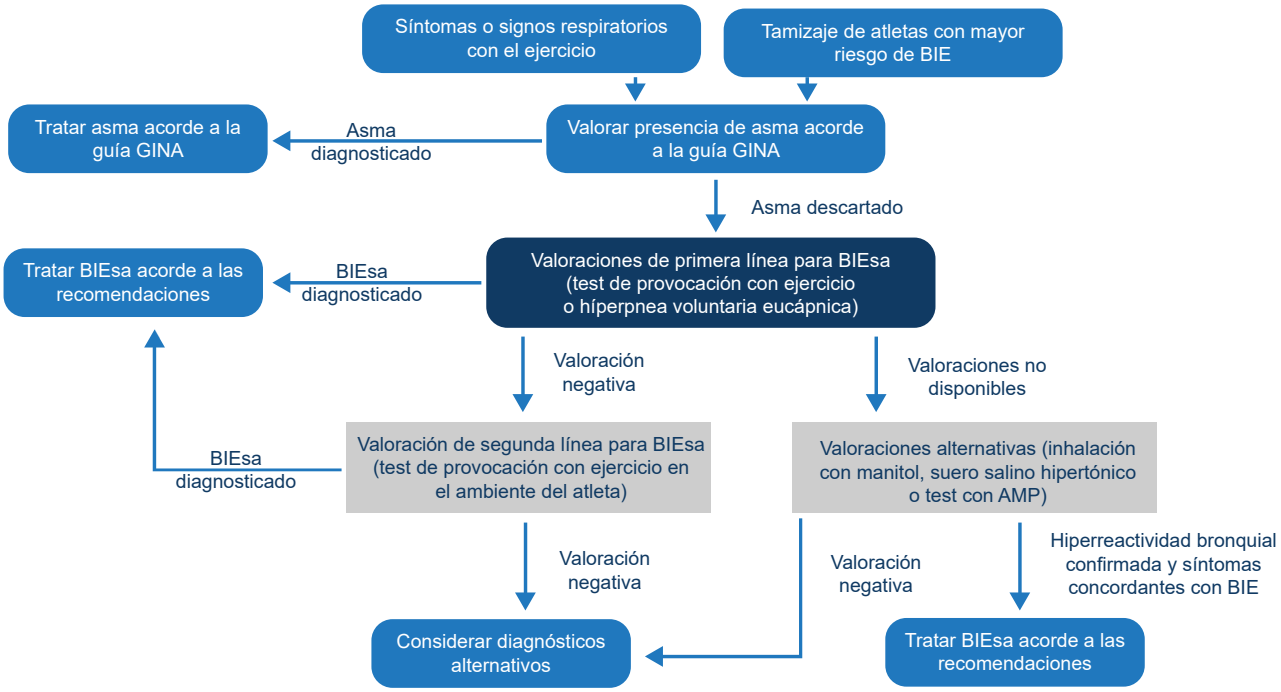



**Figura 7**. Algoritmo para el diagnóstico de BIE en el atleta (Adaptado de Guzmán y cols. 2021)[82].

*Protocolo de valoración de provocación con ejercicio en laboratorio*

**1.** No debe haber realizado ejercicio intenso las 4 horas antes a la valoración.
**2.** La suspensión de medicamentos queda a criterio del médico que realizará la valoración. En caso de realizarlo, se sugieren los tiempos de suspensión descritos en Caussade y cols. 2019[83].
**3.** Idealmente, mantener humedad y temperatura controladas (50% de humedad y temperatura de 20 a 25°). Se sugiere el uso de pinza nasal para favorecer la pérdida de agua por la vía aérea.
**4.** Obtener espirometría basal (las indicaciones y contraindicaciones para la espirometría se pueden consultar en el protocolo correspondiente).
**5.** Realizar una valoración incremental en cinta rodante (preferido) o bicicleta, con aumentos de carga progresivos cada 2 a 4 minutos hasta lograr el 80-90% de la frecuencia cardiaca máxima o elevación entre 17.5 a 21 veces el VEF1 inicial. La mayoría de los protocolos descritos sugieren que esta prueba tenga una duración de 6 a 8 minutos en total. El aumento de carga y el protocolo específico se realizará en base al historial del atleta (registro de su FC máx., registro de valoraciones de esfuerzo o valoraciones de consumo máximo de oxígeno)
**6.** Una vez lograda dicha intensidad, debe mantenerse por 6 a 8 minutos.
**7.** Una vez finalizado el ejercicio se deben obtener al menos dos mediciones de VEF1 a los 5, 10, 15 y 30 minutos.
**8.** Se considera válido el valor de VEF1 más alto logrado en cada medición para luego calcular el porcentaje de caída respecto al valor previo al ejercicio. Una caída mayor o igual al 10% en el VEF1 confirma el diagnóstico de BIE, aunque también se ha propuesto considerar una caída mayor o igual a 7% como una valoración positiva.

*Protocolo de valoración de provocación con ejercicio en campo*

**1.** En caso de persistir la sospecha diagnóstica con protocolo de laboratorio negativo, se sugiere realizar la valoración en el ambiente de entrenamiento o competición del atleta con un espirómetro portátil.
**2.** Aunque no existen protocolos establecidos en las valoraciones de

campo, se han reportado valoraciones con duración entre 6 a 8 minutos.

**3.** Algunos protocolos sugieren ejercitar a la máxima intensidad tolerable o intensidad de competencia durante 6 a 8 minutos. Algunos protocolos no incluyen calentamiento de manera intencional.

**4.** Una vez finalizado el ejercicio se deben obtener las mediciones de VEF1 a los 5, 10, 15 y 30 minutos.

**5.** Dada la respuesta variable en base a las condiciones, se sugiere tener dos pruebas negativas para excluir el diagnóstico de BIE.

*Tratamiento*

En los casos de asma diagnosticada, el tratamiento se rige en base a las necesidades del atleta. Se sugiere seguir las guías desarrolladas por GINA. En breve, los objetivos del tratamiento exitoso son[81]:

**1.** Logro y mantención del control de los síntomas.
**2.** Prevención de la exacerbación.
**3.** Mantención de la función respiratoria cerca de parámetros normales.
**4.** Mantención de la actividad diaria, incluido el ejercicio físico.

**Medidas generales:**

- El calentamiento general se recomienda iniciarlo con un trabajo aeróbico progresivo durante 10 a 15 minutos con una intensidad entre el 50 y 60% de la frecuencia cardíaca, ya que genera una atenuación de la respuesta de broncoconstricción al ejercicio posterior.
- Se recomienda un período de vuelta a la calma en que se reduzca de forma gradual la intensidad del ejercicio hacia el final de la sesión.
- Mantenerse bien hidratado antes, durante y después del ejercicio.
- Utilizar máscara protectora o de calentamiento de aire si se entrena en condiciones de bajas temperaturas. Preferir entrenar en ambientes más temperados o evitar exponerse al frío directo, ambientes muy contaminados o con exceso de alérgenos.
- Tener siempre a disposición el inhalador de rescate y aero-cámara.

- No realizar ejercicio en períodos de exacerbación o de asma mal controlada.

**Tratamiento farmacológico:**

- Corticoesteroides inhalados: corresponden al medicamento de control general para tratamiento de mantención para reducir la BIE, y la necesidad de broncodilatadores.
- Broncodilatadores: el uso de agonistas β2 adrenérgicos de acción corta (SABA) o agonistas β2 adrenérgicos de acción larga (LABA) no debiese ser como monoterapia. Actualmente se recomienda el uso de formoterol con budesonida como la terapia de primera línea previa al ejercicio en la prevención de BIEa o BIEsa, así como para su uso como terapia de rescate en caso de necesidad.
- Terapia combinada: la guía GINA sugiere utilizar dosis bajas de corticoesteroides inhalados junto con LABA 15 a 20 minutos antes de realizar ejercicio como una forma efectiva de aliviar los síntomas y evitar el riesgo de exacerbaciones producidas por el sobre uso de SABA. Se considera como primera línea para utilizar como medicamento de rescate en atletas.
- Antagonistas de los receptores de leucotrienos (ARL): los síntomas leves pueden ser manejados con fármacos de este tipo.
- Antihistamínicos y corticoides intranasales: en caso de existir rinitis o conjuntivitis alérgica se recomienda adicionar antihistamínicos a la terapia, pudiendo utilizarse también corticoides intranasales según sintomatología.
- Vitamina D: Considerando que niveles bajos de vitamina D se asocian a BIE, se debe considerar mantener niveles adecuados de Vitamina D.
- Ácidos grasos poliinsaturados omega-3: el ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA) atenúan la inflamación de las vías respiratorias y la respuesta broncoconstrictora. La suplementación con 3.2 g de EPA y 2.2 g de DHA, podría ser una sugerencia para utilizar en la medida que el resto del tratamiento esté adecuado.

*Consideraciones sobre Dopaje*

Siempre se debe tener en cuenta la última normativa del código mundial antidopaje de la Agencia Mundial Antidopaje (AMA o WADA en inglés). En la lista de prohibiciones 2022, el uso de algunos agonistas β-2

por vía inhalatoria y dentro de dosis terapéuticas está permitido (salbutamol: máximo 1600 µg c/24 horas sin exceder 600 mcg c/8 horas; formoterol: máximo 54 µg c/24 horas; salmeterol: máximo 200 µg c/24 horas; y Vilanterol: sin exceder los 25 mcg c/24 horas). En el caso de los corticoesteroides inhalados e intranasales, se permiten actualmente su utilización.

## VALORACIÓN Y CONSIDERACIONES EN VIAJES A COMPETENCIAS

*Valoración previa al viaje*

Cuando una delegación deportiva se dispone a viajar, se deben valorar los riesgos asociados a este. Idealmente, esta valoración debiese ser al menos 6 semanas antes para adelantarse a las dificultades que puedan surgir. No está de más recalcar la importancia de conocer el seguro médico con el que viajarán los atletas, así como los centros de salud más cercanos a los lugares de hospedaje, entrenamiento y competencia. Teniendo estos aspectos considerados, se deben considerar factores de riesgo individuales como[84]:

- Ambiente y humedad.
- Inmunizaciones necesarias.
- Protección de infecciones transmitidas por artrópodos e insectos.
- Jet Lag.
- Evaluación de medicamentos.
- Riesgo y tratamiento de cinetosis.
- Prevención de trombosis venosa profunda.
- Alimentación y doping.
- Prevención de infecciones gastroenterológicas.
- Riesgo de diarrea del viajero.

*Ambiente, humedad, calor e hidratación*

Las sugerencias de aclimatación a ambientes más calurosos y/o húmedos, además del manejo de termorregulación e hidratación se exponen en otro documento.

*Inmunizaciones*[84,85]

Las inmunizaciones son parte importante de la salud pública de un país. Algunos países, exigen la presencia de algunas inmunizaciones al día para permitir el ingreso, mientras que otras son recomendadas de acuerdo el riesgo de infección. En general, se pueden dividir en vacunas de uso doméstico y vacunas viaje-específico. Dentro de las vacunas de uso doméstico, en Chile las vacunas para H. Influenzae tipo B, papiloma, rubéola, viruela, sarampión, polio y tétanos son parte del plan nacional de vacunación. En caso de ser requeridas, no debiesen existir mayores problemas con el estatus de vacunación para estos cuadros. Existen otras vacunas de uso doméstico que pueden ser recomendadas según distintas recomendaciones de acuerdo a la CDC[86].

**Varicela:** en el caso de no presentar inmunidad para el virus varicela zoster (antecedentes de haber presentado varicela), se recomienda utilizar un esquema de 2 dosis separadas por 4 a 8 semanas en casos que exista riesgo de contagio.
**Tétanos:** es ideal conocer el estado de la última vacunación antitetánica para conocer la necesidad de refuerzos en caso de herida limpia o sucia[87].
**Influenza:** se debe considerar el estado de vacunación en aquellos con patologías crónicas y vacunarse al menos 2 semanas antes del viaje para desarrollar inmunidad.

En el caso de las vacunas sitio específico, estas deberán evaluarse caso a caso. De acuerdo al país de viaje, se sugiere evaluar en la página de la CDC la necesidad de vacunas[86].

*Protección de infecciones transmitidas por artrópodos e insectos*

Se sugiere el uso de repelentes con dietiltoluamida (DEET) 20 a 50% en aquellos lugares con riesgo de contagio de enfermedades por mordedura de artrópodos o mosquitos (malaria, dengue y rickettsias). De manera similar, se puede evaluar el riesgo por país en la página de la CDC[88].

**Ropa protectora:** de preferencia exponer la menor cantidad de piel posible, con vestimenta resistente y de colores claros.

**Quimioprofilaxis de malaria:** el uso de quimioprofilaxis se realizará en países con malaria endémica, lo que puede revisarse en la página de la CDC relacionada a esta enfermedad89. Además, es posible impregnar las sábanas con insecticida. La quimioprofilaxis consiste en:

- **Hidroxicloroquina 500 mg:** una vez a la semana, 2 semanas pre exposición hasta 4 semanas post exposición.

- **Doxiciclina 100 mg:** una vez al día, 2 días pre exposición hasta 4 semanas post exposición.

*Jet lag*

Las recomendaciones específicas se realizan en un apartado propio.

*Evaluación de medicamentos*

Los medicamentos a utilizar dependerán de distintas guías[85], el conocimiento que se tiene de los atletas y la experiencia del equipo que acompaña. Pueden ser divididos de acuerdo con la vía de administración o utilidad clínica. Se debe valorar direccionadamente si existen medicamentos restringidos para cada país, idealmente en las páginas de gobierno de dicho país o en la embajada. Así mismo, se debe tener en

cuenta la necesidad real de llevar medicamentos de uso de emergencia que pudiesen ser considerados doping junto con la autorización de uso terapéutico correspondiente. Se da una propuesta de familias de medicamentos en base a sistema a tratar.

**A) Antibióticos:** se debe considerar la posibilidad de alergia a la penicilina, necesidad de cubrir bacilos Gram negativos, riesgo de tendinopatía con el uso de quinolonas. Se debe valorar especialmente si en la delegación existe un riesgo aumentado de presentar infecciones urinarias y/o de piel. En el primer caso, es importante conocer previamente el antibiograma de cuadros previos para definir la necesidad de llevar algunos medicamentos (e.g., amikacina inyectable).

**B) Analgésicos y anti inflamatorios:** el uso de analgésicos y anti inflamatorios es amplio. Se sugiere, en la medida de lo posible, privilegiar las vías de administración tópica, oral y/o sublingual.

**C) Anti alérgicos:** se sugiere incluir el uso de antialérgicos. Idealmente, contar con una familia con poder sedativo y otra con menor efecto sedativo.

**D) Vía área:** uso de broncodilatadores para casos de obstrucción son recomendados. En algunos casos, puede ser necesario el uso de descongestionantes nasales tópicos o corticoides nasales. Antitusígenos con respaldo científico como la levodropopizina son recomendados.

**E) Gastrointestinal:** se sugiere llevar medicamentos para cuadros de epigastralgia (por ejemplo, inhibidores de bomba de protones), antiespasmódicos, anti-nauseosos y anti-diarreicos. Además, tener a mano medicamentos para el tratamiento de la diarrea del viajero. En casos de población con riesgo de constipación, se sugiere llevar enemas u otros fármacos que permitan evitar y/o tratar fecalomas.

**F) Antivirales:** el uso de antivirales como oseltamivir y aciclovir está recomendado en algunos casos, aunque puede ajustarse a la experiencia del clínico.

**G) Oftalmológico:** uso de lágrimas artificiales o incluso preparados de tobramicina pueden ser útiles en población susceptible.

**H) Misceláneos:** El uso de antihipertensivos en atletas con riesgo de crisis hipertensiva o disrreflexia autonómica; fármacos inductores de sueño o ansiolíticos debe ser evaluado caso a caso.
**I) Implementos especiales:** en algunos casos, será necesario llevar implementos especiales como sondas urinarias de distintos tamaños (se sugiere auto-lubricadas) o material para curación avanzado de heridas.

*Riesgo y tratamiento de cinetosis*[90]

Los mareos asociados al movimiento pueden ocurrir durante los viajes en medios de transporte, particularmente en los aviones.

**Prevención:** como alternativas no farmacológicas, se sugiere preferir asientos en los lugares con menos rotación (nivel más bajo en trenes y buses, centro de los botes y en las alas de los aviones) y mantener la visión hacia delante. Además, se sugiere preferir alimentos suaves, que sean bajos en grasas y ácidos. Por último, durante todo el viaje se debe asegurar adecuada hidratación. En algunos casos con antecedentes de cuadros severos se podrán realizar trabajos de habituación, como la exposición lenta e intermitente previa. Sin embargo, este manejo resulta poco práctico en la realidad y podría tener un mejor rol en casos de viajes por mar, que son menos usuales. El uso de medicamentos profilácticos está documentado, con mejores resultados que cuando el cuadro ya está instaurado. Ambos medicamentos propuestos no se encuentran dentro de la lista de sustancias prohibidas por la WADA para 2021, no obstante, se debe estar revisando constantemente las actualizaciones de este listado. En caso de cuadros ya instaurados, se sugiere utilizarlos lo antes posible cuando inician los síntomas.

**Escopolamina:** es la primera línea de tratamiento y no produce sedación. Su mayor efectividad es con la vía transdérmica (1 parche en mastoides 4 horas antes del viaje y luego cada 72 horas), pero no está disponible en Chile. Por lo tanto, el uso de escopolamina vía oral 0.4 a 0.6

mg (1 gota en la versión oral disponible en Chile) utilizada 1 hora antes del viaje y luego cada 8 horas podría ser efectiva.

**Antihistamínicos:** El uso de dimenhidrinato es útil, aunque produce efectos sedantes. Su efecto sedante puede ser molesto en algunos casos, en otros puede ser una ventaja para facilitar el sueño durante el viaje. Se sugiere dosis de 50 a 100 mg cada 4 a 6 horas, con dosis máxima de 400 mg al día.

*Prevención de trombosis venosa profunda (TVP) y tromboembolismo pulmonar (TEP)*

En población general, los viajes prolongados no aumentan el riesgo de trombosis venosa profunda, sin embargo, en aquellos con predisposición o factores de riesgo, debe considerarse en viajes de 8 horas o más (2 a 4 veces más riesgo)[91]. Los factores de riesgo incluyen:

- Inmovilidad (donde pueden considerarse los atletas con algún tipo de parálisis motora).
- Cirugía reciente (al menos 3 meses).
- Antecedentes de TVP o TEP.
- Trauma mayor.
- Uso de anticonceptivos.
- Embarazo.
- Cardiopatía congénita.
- Enfermedad inflamatoria intestinal.
- Malignidad.
- Lupus.
- Trombofilias.

Durante el viaje, el factor de riesgo más importante es el tiempo de inmovilización, más allá del espacio para mover las extremidades. Aunque la evidencia no es significativa, el uso de anticoagulantes se ha sugerido para los viajes prolongados en personas de alto riesgo (no así el uso de antiagregantes).

*Alimentación y doping*

Aunque la contaminación de suplementos es algo conocido, se ha descrito el riesgo de contaminación inadvertida con fuentes de comida como es el caso de clembuterol en productos animales comercializados en algunos países[92]. Debido a lo difícil de predecir y debido a las distintas regulaciones existentes, se sugiere tener la precaución de ingesta, procurando alimentarse en lugares autorizados y de forma regular para poder realizar la trazabilidad en caso de un resultado adverso.

*Prevención de infecciones gastroenterológicas*

A) Uso de aguas purificada o embotellada.
B) Comida bien cocida, evitar comida marina y la mayonesa.
C) Consumir frutas sin cáscara y verduras cocidas.
D) Lácteos pasteurizados.
E) Lavado de manos antes y después de comer y/o alcohol gel.
F) Uso de probióticos: S. Boulardii disminuye el riesgo. Es promisorio el uso de bifidobacterias galacto oligosacáridos.
G) Subsalicilato de bismuto: 2 tabletas 4 veces a la semana.

*Diarrea del viajero*[84,93]

Presencia de 3 o más deposiciones no formadas por día, más 1 queja por malestar gastrointestinal dentro de las 24 horas del viaje, hasta 7 días posterior al retorno.
**Factores de riesgo:** uso de inhibidores de bomba de protones, embarazo, inmunosupresión, edad joven.

**Tratamiento:** rehidratación oral (sales), antimotilidad (loperamida), antibióticos (ciprofloxacino 750 mg por una vez o azitromicina 1 gr por una vez. Repetir dosis en caso de síntomas persistentes luego de 3 días). En algunos casos se puede usar como antibiótico rifaximina 200 mg 3 veces al día por 3 días (como recomendación más débil). Evitar

loperamida sólo en casos de fiebre alta, dolor abdominal severo o disentería.

**Quimioprofilaxis:** no recomendada, salvo en casos que debe evitarse completamente la diarrea y no debe exceder 14 días. Se debe utilizar rifaximina (400 a 600 mg diarios) y, en caso de presentar un cuadro, el tratamiento es con azitromicina.

## Estrategias para la Mitigación del Jet-Lag

Diferentes estímulos tanto internos como externos se pueden manipular para favorecer la "resincronización" del ritmo circadiano interno a las condiciones externas, siempre y cuando sean aplicados en los tiempos y dosis correctas. La exposición/restricción a la luz, la ingesta de melatonina y el ejercicio destacan entre las alternativas. El punto de menor temperatura corporal (TCmin) durante el ciclo sueño vigilia, que ocurre alrededor de las 04:00 horas, pareciera ser el punto de inflexión entre que un estímulo dado estimule el "atraso" o el "adelantamiento" del ciclo interno y debe tomarse en consideración para proyectar la prescripción de estímulos para la aclimatación al horario del lugar de arribo. En relación a los efectos sobre el ciclo circadiano interno en función de un estímulo dado, la exposición a luz solar durante la tarde y primera mitad de la noche provocan un retraso del ciclo, mientras que el mismo estímulo durante las primeras horas de la mañana genera el efecto inverso. Situación similar ocurre con la práctica de ejercicio en dichos horarios. En el caso de la ingestión de melatonina exógena, el fenómeno completamente al revés[94]. En relación a la intensidad del retraso (números negativos) o adelantamiento (números positivos) sobre el ciclo según la cercanía respecto de la temperatura corporal mínima, los efectos son más potentes en las horas extremas del día (tarde-noche y primeras horas de la mañana). Cabe destacar que viajes transmeridianos con menos de 3 husos horarios de diferencia o de corta duración (1-2 días) no se ven beneficiados de implementar estrategias contra el jet-lag[95].

*Exposición a la luz*

La exposición/restricción a la luz natural es una de las pistas naturales más potentes para re-sincronizar el ritmo circadiano[94]. Es simple, no requiere de equipamiento, pero se debe utilizar de manera precisa en función de la curva fase respuesta del efecto de la luz para obtener los efectos deseados. Esto es de particular interés en viajes en dirección Este. Cuando un esquema requiere de exposición a la luz durante el día, lo mejor es estar puertas afuera sin lentes. En caso de requerirse exposición a la luz después de la puesta de sol, se debe exponer a luz artificial brillante (existen gafas emisoras de luz). En caso de requerirse restricción de luz, la mejor estrategia es estar dentro de una habitación con las luces apagadas. Se puede considerar tomar una siesta, previendo que no interfiera con la proyección del horario de acostada. En caso de que estar puertas afuera sea inevitable, se debe usar gafas de sol con la mayor cobertura posible a la entrada de luz.

*Melatonina*

Unas 2 horas previo a la hora de dormir, la glándula pineal secreta melatonina induciendo el sueño mediante la disminución de la temperatura corporal[96]. La desincronización entre las condiciones de luz-oscuridad externas y el reloj circadiano interno -con la consecuente liberación de melatonina desfasada- es la principal responsable de los trastornos del sueño en el jet-lag.  En este contexto, la ingesta de melatonina exógena es una herramienta para la adaptación al horario local, teniendo un efecto inverso al de la exposición a la luz. Su efecto "cronobiótico" es mayor para adelantar el ciclo e inducir un sueño precoz versus retrasarlo y sostener el sueño. Se debe tener en consideración la dosificación y su efecto esperado, considerando el efecto hipnótico de la melatonina. En caso de que la ingesta de melatonina este proyectada durante un período de sueño, solo debe ingerirse si se presenta insomnio. En caso de no haber insomnio, esa dosis puede evitarse.

*Ejercicio*

La evidencia sobre el tiempo y dosis adecuada de ejercicio como herramienta para mitigar el jet-lag es contradictoria. Un meta-análisis sobre la curva fase respuesta del efecto del ejercicio lo asimila a la curva fase respuesta del efecto de la exposición a la luz, aunque con un retraso de dos horas. Por lo tanto, el ejercicio podría potencialmente programarse al mismo tiempo que la exposición lumínica considerando el retraso temporal mencionado[97,98].

*Esquemas de adaptación*

La adaptación completa se alcanza cuando el ciclo circadiano interno cambia lo suficiente para que la TCmin ocurra en el mismo horario que ocurría en el horario de lugar de salida. Esto puede tomar varios días. Sin embargo, si el cambio es suficiente para que la TCmin ocurra dentro del horario nocturno central de sueño, se alcanza una adaptación parcial y la sintomatología disminuye considerablemente[94]. Dado que el ciclo circadiano dura en promedio 24.2 horas, tiene una tendencia natural a "atrasarse". Por lo tanto, en casos de 12 horas de diferencia (e.g., vuelo Santiago-Tokio), se debe optar por viajes en dirección Oeste. A continuación, se presenta un esquema de estrategia para la adaptación a viajes transmeridianos de 12 horas de diferencia hacia el Oeste (**Figura 8**). Dichos esquemas asumen un escenario estándar: a) un horario de sueño entre las 23:00 y 07:00 horas; b) una TCmin a las 04:00; c) un arribo a las 13:00 horas. Todas esas variables deben ajustarse e individualizarse a la realidad de cada viaje. Para ver todos los esquemas de 3, 6, 9 y 12 horas de diferencia en viajes este/oeste consultar referencia 94.

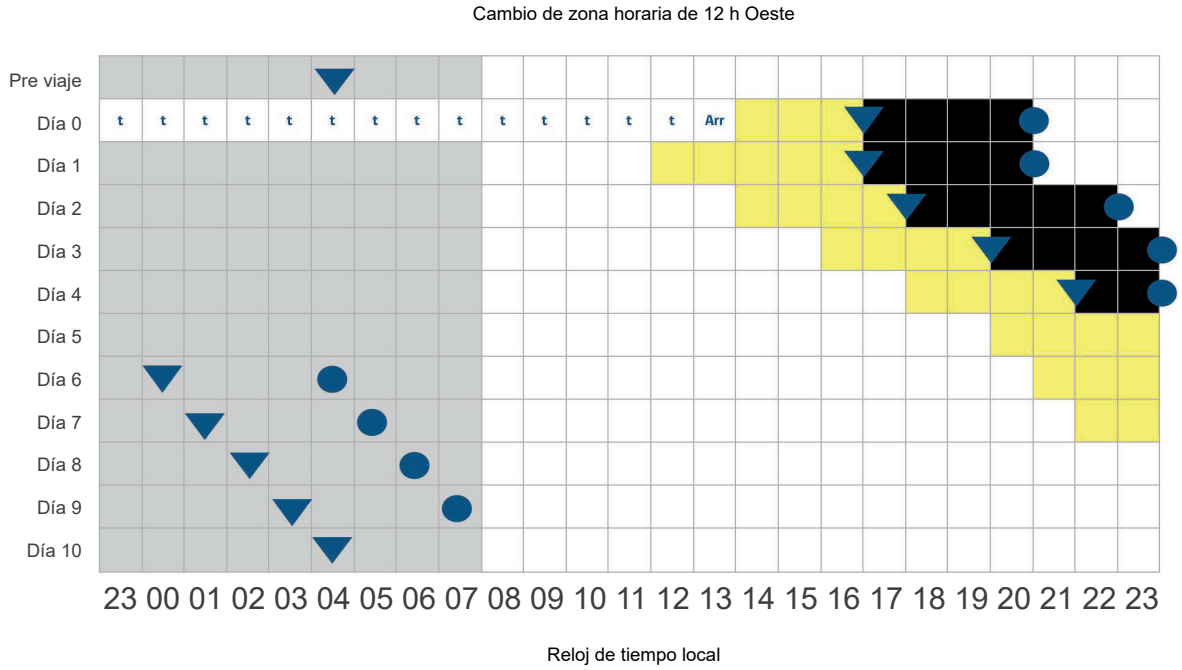



**Figura 8**. Ejemplo de estrategia para la adaptación a vuelos en dirección Oeste de 12 horas de diferencia. "t": viaje transmeridiano; "Arr": arribo. Cuadrados grises: horario normal de sueño en lugar de arribo; Cuadrados blancos: horario normal de vigilia en lugar de arribo; Cuadrados amarillos: indica exponerse a la luz; Cuadrados negros: indica evitar la luz. Círculos azules: indica ingestión de melatonina; Triángulos invertidos azules: indican hora de TCmin (Adaptado de Roach y cols. 2019)[94].

## Prevención y Manejo de Patología por Calor

Las enfermedades por calor son un grupo de cuadros que ocurren durante la realización de actividades intensas o de larga duración. Si bien pueden darse en climas fríos, son más comunes en ambientes con temperaturas elevadas (donde la ganancia térmica es mayor) y donde la humedad es alta (donde la dificultar para perder calor está afectada)[99,100]. Por otro lado, además del grupo de trastornos inducidos por calor, se debe tener en cuenta que el rendimiento deportivo se ve entorpecido por condiciones de temperaturas elevadas o por deshidratación, siendo mucho mayor la afectación cuando se conjugan ambos factores[99,100]. Para comprender este grupo de enfermedades por calor, se deben tener en consideración los siguientes conceptos[99]:

**Calambres por calor:** síntomas de dolor por una contracción sostenida del músculo producidos con ejercicio extenuante, principalmente en temperaturas ambientales elevadas.

**Fatiga por calor ("Heat exhaustion"):** fatiga central e incapacidad de seguir realizando ejercicio en condiciones de ambiente con temperaturas elevadas. Habitualmente no existe temperatura central sobre los 40° y es más prevalente en condiciones de deshidratación. Se cree que la causa es una fatiga central producto de la vasodilatación periférica.

**Hipertermia por ejercicio ("Exertional Hyperthermia"):** se define como un estado de hipertermia, con temperatura central (rectal) mayor a 40°, que ocurre en el contexto de actividad física.

**Golpe de calor ("Exertional heatstroke"):** hipertermia por ejercicio asociada a síntomas o signos de falla orgánica, siendo lo más frecuente alteraciones neurológicas.

Aunque se ha observado que en la mayoría de los casos aparecen síntomas asociados a intolerancia al calor y el rendimiento disminuye considerablemente por sobre los 40°C de temperatura central, algunos atletas han llegado a tener temperaturas sobre los 41°C de manera asintomática[99]. Sin embargo, se sugiere mantener 40°C como la temperatura central que orienta a estas patologías.

Consideraciones respecto a la deshidratación[99]: se reconoce que la deshidratación ésta aumenta en ambientes cálidos debido a la alta tasa de sudoración. Esto lleva a la pérdida de electrolitos que se asocian a un mayor riesgo de calambres inducidos por ejercicio o de hiponatremia inducida por ejercicio de larga duración (especialmente cuando la reposición de fluidos es inadecuada para los requerimientos). Sin embargo, con niveles de deshidratación por sobre el 3 a 5% del peso corporal, la capacidad de disipar calor por medio de la piel y de la sudoración disminuye de manera considerable.

## Factores de riesgo

*Factores de riesgo del atleta*[99,100]

- Antecedentes de enfermedad por calor.
- Falta de aclimatación.
- Desacondicionamiento físico.
- Temperaturas ambientales sobre los 28° (a mayor temperatura, mayor riesgo).
- Ejercicio de alta intensidad (>75% $VO_2$máx.).
- Ejercicio vigoroso durante más de 1 hora.
- Infecciones concurrentes, especialmente aquellas que cursan con fiebre.
- Medicamentos que aumentan producción de calor (e.g., simpático miméticos) o que aumentan riesgo de deshidratación (e.g., uso de diuréticos).
- Condiciones médicas de base: existen algunas condiciones médicas que se asocian a menor capacidad para disipar el calor (lesión medular, amputaciones de grandes áreas o con uso de prótesis, quemaduras de grandes áreas de piel, quemaduras solares, diabetes mellitus, polineuropatías) o mayor producción de calor en condiciones de ejercicio (patologías que cursan con espasticidad, obesidad, predisposición genética a hipertermia maligna).
- Uso de vestimenta que impide la evaporación del sudor o que es más pesada de lo habitual (puede ser considerado factor de riesgo del deporte mismo también).
- Deprivación del sueño.
- Deshidratación, mala nutrición.

*Factores de riesgo del deporte*

Se consideran como deportes de alto riesgo aquellos que compiten en categoría de peso, donde es frecuente que los atletas realicen estrategias de deshidratación y baja ingesta calórica los días previos para obtener el peso de competencia según su categoría.

- Combate: Boxeo, Taekwondo, Judo, Lucha y Karate.
- Levantamiento de pesas.
- Remo: menos frecuente, ya que los atletas tienden a mantenerse en sus pesos de competencia, lo que los beneficia en la eficiencia de su deporte.
- Deportes de larga duración: atletismo de fondo, ciclismo, triatlón.

*Cuadro clínico*

Los síntomas asociados a golpe de calor se asociación a desorientación, confusión, mareos, náuseas, vómitos, cefalea, pérdida de equilibrio, debilidad, fatiga, hiperventilación, irritabilidad, comportamiento inusual y descoordinación muscular, hasta llegar a coma e incluso la muerte[99]. La estimación de la temperatura central es prioritaria para establecer el diagnóstico, por lo que debe realizarse la medición de temperatura rectal. Además, deben medirse otros signos vitales como presión arterial y frecuencia cardíaca.

*Prevención*

**Medidas generales:**

- Asegurar una hidratación adecuada (ver lineamiento específico).
- Evitar ejercicio en condiciones ambientales cálidas si existen cuadros que cursan con fiebre, diarrea, vómitos.
- Recuperación: se debe priorizar la recuperación después de las sesiones de entrenamiento o durante la competencia cuando sea posible. Optimizar las horas de sueño, planificación de la alimentación, uso de suplementos deportivos en caso de que sean necesarios y fisioterapia.
- Educación de los síntomas y signos de alarma: todo atleta que se enfrentará a una competencia con riesgo de enfermedad por calor se educará sobre formas de prevención, síntomas y detección precoz y valoración individualizada del riesgo según

deporte, características de la competencia y factores individuales.

**Medidas específicas:**

- Monitoreo del estrés por calor[101]: hoy en día, el monitoreo está bien descrita en el área ocupacional más que en el área deportiva. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la variabilidad en cada atleta y en las exigencias del deporte mismo hacen muy difícil predecir la tolerancia que tendrá el atleta a las condiciones ambientales. Por otro lado, otras formas de monitoreo que se utilizan en salud ocupacional como medición de temperatura sublingual para predecir temperatura rectal (0.3 a 0.5°C menor que la T° rectal) pueden no ser útiles en contexto que la ventilación por la boca es mucho mayor al realizar esfuerzos, el consumo constante de líquidos más fríos en condiciones de cálidas. Otra opción de medición descrita es el uso de termómetros infrarrojos para temperatura timpánica, sin embargo, se debe asegurar que el conducto auditivo esté limpio para que la medición sea correcta. Otros dispositivos que realizan una integración de la frecuencia cardíaca han sido utilizados, pero aún sin resultados del todo claros.

- Aclimatación y aclimatización[99,100,102]: corresponde a la intervención en que el atleta modifica parámetros fisiológicos que permiten mejorar su tolerancia al calor y mejorar su rendimiento en ambientes con temperaturas elevadas. Mientras que la aclimatización corresponde al uso de exposición ambiental, la aclimatación corresponde a la manipulación artificial de las variables. Dentro de los cambios fisiológicos que se producen, se describe la disminución de temperatura central y de piel, disminución de la frecuencia cardíaca submáxima, aumento de la tasa de sudoración y expansión del volumen plasmático. En general, se requieren 10 a 14 días de entrenamiento durante un período de 1 a 2 horas en ambientes cálidos para lograr una aclimatación. Aunque existen protocolos

isotérmicos o de carga de trabajo fijas a determinadas temperaturas, en la práctica puede ser poco útil ya que condiciona el entrenamiento del atleta. Por lo mismo, el trabajo debe ser individualizado, procurando que la exposición al calor sea suficiente para producir el estrés térmico que realizará las modificaciones y controlado para que no disminuya el rendimiento durante los entrenamientos (que generalmente serán en condiciones cercanas a la puesta a punto). En otros casos, el uso de medios pasivos como sauna o inmersión en agua caliente después de entrenar durante 40 minutos o menos también se han considerado como una alternativa para inducir adaptaciones sin alterar el entrenamiento

- Cooling[100]: corresponde a métodos de enfriamiento que se aplican en una persona para bajar su temperatura corporal. Pueden dividirse en estrategias de cooling central (enfocadas directamente en disminuir la temperatura central) o periféricas (aplicadas a nivel de piel para producir de manera indirecta la disminución de la temperatura central), pudiendo ser utilizadas en conjunto. El uso de mentol no corresponde a una estrategia de cooling de por sí, sino que colabora con la sensación de frescor. Aun así, se ha observado como una alternativa para mejorar el rendimiento en condiciones de calor. La **Tabla 13** muestra los tipos de estrategias de cooling que se utilizan habitualmente. Además del tipo, su uso puede dividirse en el momento a ser utilizado. El pre-cooling busca disminuir la temperatura central y mejorar la capacidad de tolerar el calor, el cooling durante la actividad busca atenuar el ascenso de la temperatura y el cooling post ejercicio busca favorecer la recuperación. En términos generales, se sugiere el uso de estrategias mixtas de precooling y cooling durante la actividad para mejorar el rendimiento. Sobre el uso específico, se debe adaptar a la realidad del deporte y del atleta.

**Tabla 13**. Métodos de enfriamiento utilizados en atletas (Adaptado de Griggs y cols 2020)[100]

| Cooling periférico | Cooling central |
|---|---|
| Chaleco de enfriamento (Ice vest) | Ingesta de agua fria |
| Inmersión en agua | Ingesta de granizados |
| Toallas enfriadas | |
| Packs de hielo | |
| Espray de agua | |

Aunque el uso de cooling periférico en palmas de las manos ha mostrado disminuir la temperatura Core de forma eficaz, puede no ser una alternativa útil para atletas que requieren precisión en el uso de manos durante la práctica deportiva. En estos casos, el uso de técnicas de cooling como spray de agua + ventiladores (para favorecer la evaporación), acompañado de toallas en hombros, ice packs bajo axilas o en la zona baja del vientre pueden ser medidas efectivas. Así mismo, el uso de granizados puede disminuir la tasa de sudoración, por lo que en atletas que utiliza este método como forma principal de disipar el calor puede verse afectado. Además, en atletas con lesión medular alta podría incluso producir disrreflexia autonómica.

*Manejo agudo de enfermedad por calor*

Una vez que se presenta alguna de las condiciones de enfermedad aguda por calor, el componente más importante es disminuir la temperatura central lo antes posible. El factor más relevante respecto al daño que se produce es el tiempo de exposición a temperaturas por sobre los 40°C, más que la temperatura peak alcanzada[99]. En este caso, períodos de hipertermia por más de una hora se asocian a peor pronóstico en morbi-mortalidad[99]. Para lograr esta disminución de temperatura, se deben realizar las siguientes acciones:

- Cese de la actividad física.
- Traslado hacia una zona de sombra en casos de fatiga por calor. En casos de golpe de calor, la prioridad es el enfriamiento por sobre el traslado.

- Enfriamiento/cooling de cuerpo completo: debe realizarse idealmente en terreno. Las alternativas que generan un descenso más rápido de la temperatura son la inmersión en agua fría o agua con hielo. Además, tiene menor morbi-mortalidad. Como alternativa, toallas empapadas en agua con hielo que se coloquen en cabeza, tronco y extremidades sumado a packs de hielos de cuello, axila e ingle pueden ser una alternativa rápida mientras se busca la posibilidad de trasladar a un área de inmersión. El uso de ventiladores tiene menos efectividad, especialmente en climas húmedos.
- Medidas posteriores tras controlar la urgencia: se sugiere traslado a servicio de urgencias posterior a un golpe de calor. El atleta debiese permanecer al menos 7 días en reposo deportivo. Dentro de la valoración médica a realizar, se debe buscar dirigidamente persistencia de marcadores de falla orgánica, donde debe incluirse valoración del perfil hepático y de creatina quinasa (total y con sus isoformas).

*Valoraciones médicas*

## Valoraciones primarias

Valoración pre-participativa: se sugiere valorar y documentar el riesgo de enfermedad por calor en atletas respecto a su condición de base o los antecedentes que haya tenido. Además, se sugiere educar respecto al monitoreo del estado de hidratación.

Consejería en viajes: en caso de viaje a torneos específicos, se sugiere realizar educación en prevención de enfermedad por calor, enfocando las sugerencias de manejo mencionadas previamente.

Deportes de alto riesgo: se sugiere que en aquellos deportes de alto riesgo y durante las visitas a terreno, se valore el grado de hidratación de los atletas durante los entrenamientos.

### Valoraciones secundarias

Medición de tasa de sudoración: en atletas con alto riesgo de enfermedad por calor, deportes de alto riesgo, que estarán expuestos a condiciones ambientales de riesgo y en que las medidas de automonitoreo de hidratación no han podido ser adecuadamente implementada, se sugiere realizar valoración de tasa de sudoración. En condiciones ideales, debiese realizarse una valoración de tasa de sudoración tanto en entrenamientos como en una competencia simulada.

*Retorno deportivo*

Restringirse de actividad física por al menos 7 días después del episodio.

Monitoreo : monitorear a la semana y verificar pruebas órgano específicos.

Incremento gradual de la actividad en volumen, intensidad y con temperatura ambiental gradualmente incrementando.

Si existe dificultad del retorno, se puede realizar en laboratorio una valoración de tolerancia al calor en ejercicio.

Generalmente el retorno deportivo es entre 2 a 4 semanas.

## Apoyo y Prestaciones Según Condición Deportiva

Finalmente, la **Tabla 11** muestra el resumen de las prestaciones y valoraciones del Área de Medicina Deportiva de la UCAD, las cuales tienen como objetivo apoyar y monitorear el procesos de preparación y competencia de los atletas de alto rendimiento.

**Tabla 14**. Principales prestaciones y valoraciones realizadas por el Área de Medicina Deportiva UCAD.

| Acciones | Valoraciones primarias (Bases deportivas, federaciones) | Valoraciones secundarias (PRODDAR, priorizados, potenciales, proyección, casos excepcionales) |
|---|---|---|
| Monitoreo de cargas/Biomarcadores | Cuestionario de bienestar<br>Exámenes basales de biomarcadores | Cuestionario de bienestar<br>Exámenes basales de biomercadores<br>Exámenes según planificación anual |
| Monitoreo del sueño | ASSQ/ASBQ | Consulta médica<br>ASSQ/ASBQ |
| Musculatura respiratoria | Espirometría pre y post BD | Espirometría pre y post BD<br>PIM y PEM |
| Entrenamiento en altura | No aplica | Laboratorio pre y post estadía<br>Monitoreo de cargas y patología de altura<br>Estado de hidratación (DU, diuresis) |
| Valoración pre-participativa | Consulta médica<br>electrocardiograma | Consulta médica<br>Electrocardiograma<br>Ecocardiograma<br>Valoración de esfuerzo<br>Valoración cardiopulmonar de ejercicio |
| Broncoconstrucción inducida por ejercicio | Consulta médica<br>espirometría pre y post BD | Consulta médica<br>Espirometría pre y post BD<br>Espirometría pre y post ejercicio<br>PIM y PEM |
| Viajes | Asesoría sobre consideraciones según viaje competitivo | Consulta médica<br>Asesoría sobre consideraciones según viaje competitivo |
| Jet-lag | Asesoría sobre consideraciones para mitigación de jet-lag | Consulta médica<br>Asesoría sobre consideraciones para mitigación de jet-lag<br>Diseño de estrategias para mitigación de jet-lag |
| Patología por calor | Valoración pre-participativa<br>Consejería en viajes<br>Estado de hidratación en deportes de riesgo (DU) | Valoración pre-participativa<br>Consejería en viajes<br>Estado de hidratación (DU – tasa de sudoración) |

Nota: el acceso a la UCAD es en base a proyección deportiva y logros deportivos. Los criterios de acceso, determinados por las Unidades Técnico-Metodológicas del IND, son constantemente informados a la Federaciones Deportivas Nacionales, Entrenadores, Atletas, y personas involucradas en el proceso de alto rendimiento.

# Referencias

**1.** Snook, G. A. The history of sports medicine. Part I. Am. J. Sports Med. 12, 252–254 (1984).

**2.** Jackson, D. W. The history of sports medicine. Part 2. Am. J. Sports Med. 12, 255–257 (1984).

**3.** Salvatierra Matzner, S. Medicina, deporte y prevención : el nacimiento de la medicina deportiva en Chile 1956–1962. (Universidad Alberto Hurtado, 2014).

**4.** McCrory, P. What is sports and exercise medicine? Br. J. Sports Med. 40, 955–957 (2006).

**5.** Speed, C. High-performance sports medicine. Clin. Med. 13, 47–49 (2013).

**6.** Pigozzi, F. Specialisation in sports medicine: the state of the Sport Medicine Specialty Training Core Curriculum in the European Union. Br. J. Sports Med. 43, 1085–1087 (2009).

**7.** Pope, C. C., Penney, D. & Smith, T. B. Overtraining and the complexities of coaches' decision-making: managing elite athletes on the training cusp. Reflective Pract. 19, 145–166 (2018).

**8.** Mountjoy, M. et al. IOC consensus statement on relative energy deficiency in sport (RED-S): 2018 update. Br. J. Sports Med. 52, 687–697 (2018).

**9.** Tipton, C. M. Sports Medicine: A Century of Progress. J. Nutr. 127, 878S–885S (1997).

**10.** WADA. What is Prohibited. World Anti-Doping Agency https://www.wada-ama.org/en/content/what-is-prohibited (2021).

**11.** Dijkstra, H. P., Pollock, N., Chakraverty, R. & Alonso, J. M. Managing the health of the elite athlete: a new integrated performance health management and coaching model. Br. J. Sports Med. 48, 523–531 (2014).

**12.** Moreau, W. J. & Nabhan, D. Organización y trabajo multidisciplinario en un centro olímpico de alto rendimiento en los estados unidos. Rev. Médica Clínica Las Condes 23, 343–348 (2012).

**13.** Luteberget, L. S. et al. Load Monitoring Practice in Elite Women Association Football. Front. Sports Act. Living 3, 249 (2021).

**14.** Issurin, V. B. New horizons for the methodology and physiology of training periodization. Sports Med. Auckl. NZ 40, 189–206 (2010).

**15.** Bourdon, P. C. et al. Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement. Int. J. Sports Physiol. Perform. 12, S2161–S2170 (2017).

**16.** Halson, S. L. Monitoring training load to understand fatigue in athletes. Sports Med. Auckl. NZ 44 Suppl 2, S139–147 (2014).

**17.** Jones, C. M., Griffiths, P. C. & Mellalieu, S. D. Training Load and Fatigue Marker Associations with Injury and Illness: A Systematic Review of Longitudinal Studies. Sports Med. Auckl. NZ 47, 943–974 (2017).

**18.** McGuigan, M. Monitoring training and performance in athletes. (Champaign, IL : Human Kinetics, 2017).

**19.** Starling, L. T. & Lambert, M. I. Monitoring Rugby Players for Fitness and Fatigue: What Do Coaches Want? Int. J. Sports Physiol. Perform. 13, 777–782 (2018).

**20.** Lee, E. C. et al. Biomarkers in Sports and Exercise: Tracking Health, Performance, and Recovery in Athletes. J. Strength Cond. Res. 31, 2920 (2017).

**21.** Torrens, M. Interpretación Clínica del Hemograma. Rev. Médica Clínica Las Condes 26, 713–725 (2015).

**22.** Eichner, E. R. Athletes, Anemia, and Iron Redux. Curr. Sports Med. Rep. 20, 335–336 (2021).

**23.** Campuzano-Maya, G. Estudio del paciente con hiperferritinemia. Med. Lab. 23, 411–442 (2017).

**24.** Clénin, G. et al. Iron deficiency in sports - definition, influence on performance and therapy. Swiss Med. Wkly. 145, w14196 (2015).

**25.** Larson-Meyer, D. E. & Gostas, D. E. Thyroid Function and Nutrient Status in the Athlete. Curr. Sports Med. Rep. 19, 84–94 (2020).

**26.** Duhig, T. J. & McKeag, D. Thyroid disorders in athletes. Curr. Sports Med. Rep. 8, 16–19 (2009).

**27.** Palacios, G. et al. Biomarkers of physical activity and exercise. Nutr. Hosp. 31 Suppl 3, 237–244 (2015).

**28.** Książek, A., Zagrodna, A. & Słowińska-Lisowska, M. Vitamin D, Skeletal Muscle Function and Athletic Performance in Athletes-A Narrative Review. Nutrients 11, E1800 (2019).

**29.** Wiciński, M. et al. Impact of Vitamin D on Physical Efficiency and Exercise Performance—A Review. Nutrients 11, 2826 (2019).

**30.** Krzywański, J. et al. Vitamin B12 Status and Optimal Range for Hemoglobin Formation in Elite Athletes. Nutrients 12, E1038 (2020).

**31.** Urdampilleta, A., Martínez-Sanz, J. M. & Lopez-Grueso, R. Valoración bioquímica del entrenamiento: herramienta para el dietista-nutricionista deportivo. Rev. Esp. Nutr. Humana Dietética 17, 73–83 (2013).

**32.** San-Millán, I. Blood Biomarkers in Sports Medicine and Performance and the Future of Metabolomics. Methods Mol. Biol. Clifton NJ 1978, 431–446 (2019).

**33.** Bhatia, R. T. et al. Exercise in the Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus-2 (SARS-CoV-2) era: A Question and Answer session with the experts Endorsed by the section of Sports Cardiology & Exercise of the European Association of Preventive Cardiology (EAPC). Eur. J. Prev. Cardiol. 27, 1242–1251 (2020).

**34.** Cabral, B. M. I., Edding, S. N., Portocarrero, J. P. & Lerma, E. V. Rhabdomyolysis. Dis.--Mon. DM 66, 101015 (2020).

**35.** Malhotra, R. K. Sleep, Recovery, and Performance in Sports. Neurol. Clin. 35, 547–557 (2017).

**36.** Walsh, N. P. et al. Sleep and the athlete: narrative review and 2021 expert consensus

recommendations. Br. J. Sports Med. 55, 356-368 (2021).

**37.** Mougin, F. et al. Effects of sleep disturbances on subsequent physical performance. Eur. J. Appl. Physiol. 63, 77-82 (1991).

**38.** Abedelmalek, S. et al. Effects of Partial Sleep Deprivation on Proinflammatory Cytokines, Growth Hormone, and Steroid Hormone Concentrations During Repeated Brief Sprint Interval Exercise. Chronobiol. Int. 30, 502-509 (2013).

**39.** Souissi, N. et al. Effects of time-of-day and partial sleep deprivation on short-term maximal performances of judo competitors. J. Strength Cond. Res. 27, 2473-2480 (2013).

**40.** Skein, M., Duffield, R., Edge, J., Short, M. J. & Mündel, T. Intermittent-sprint performance and muscle glycogen after 30 h of sleep deprivation. Med. Sci. Sports Exerc. 43, 1301-1311 (2011).

**41.** Ben Cheikh, R., Latiri, I., Dogui, M. & Ben Saad, H. Effects of one-night sleep deprivation on selective attention and isometric force in adolescent karate athletes. J. Sports Med. Phys. Fitness 57, 752-759 (2017).

**42.** Vitale, K. C., Owens, R., Hopkins, S. R. & Malhotra, A. Sleep Hygiene for Optimizing Recovery in Athletes: Review and Recommendations. Int. J. Sports Med. 40, 535-543 (2019).

**43.** Charest, J. & Grandner, M. A. Sleep and Athletic Performance: Impacts on Physical Performance, Mental Performance, Injury Risk and Recovery, and Mental Health. Sleep Med. Clin. 15, 41-57 (2020).

**44.** Wells, G. D. & Norris, S. R. Assessment of physiological capacities of elite athletes & respiratory limitations to exercise performance. Paediatr. Respir. Rev. 10, 91-98 (2009).

**45.** Nickerson, B. G. & Keens, T. G. Measuring ventilatory muscle endurance in humans as sustainable inspiratory pressure. J. Appl. Physiol. 52, 768-772 (1982).

**46.** Lorca-Santiago, J., Jiménez, S. L., Pareja-Galeano, H. & Lorenzo, A. Inspiratory Muscle Training in Intermittent Sports Modalities: A Systematic Review. Int. J. Environ. Res. Public. Health 17, 4448 (2020).

**47.** American Thoracic Society/European Respiratory Society. ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. Am. J. Respir. Crit. Care Med. 166, 518-624 (2002).

**48.** Sezer, N., Akkuş, S. & Uğurlu, F. G. Chronic complications of spinal cord injury. World J. Orthop. 6, 24-33 (2015).

**49.** Alves, V. L. dos S. & Avanzi, O. Respiratory muscle strength in idiopathic scoliosis after training program. Acta Ortop. Bras. 24, 296-299 (2016).

**50.** HajGhanbari, B. et al. Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: a systematic review with meta-analyses. J. Strength Cond. Res. 27, 1643-1663 (2013).

**51.** Shei, R.-J. Recent advancements in our understanding of the ergogenic effect of respiratory muscle training in healthy humans: a systematic review. J. Strength Cond. Res. 32, 2665-2676 (2018).

**52.** Lomax, M. E. & McConnell, A. K. Inspiratory muscle fatigue in swimmers after a single

200 m swim. J. Sports Sci. 21, 659-664 (2003).

**53.** Hartz, C. S., Sindorf, M. A. G., Lopes, C. R., Batista, J. & Moreno, M. A. Effect of Inspiratory Muscle Training on Performance of Handball Athletes. J. Hum. Kinet. 63, 43-51 (2018).

**54.** Nepomuceno Júnior, B. R. V., Gómez, T. B. & Gomes Neto, M. Use of Powerbreathe® in inspiratory muscle training for athletes: systematic review. Fisioter. Em Mov. 29, 821-830 (2016).

**55.** Schaer, C. E., Wüthrich, T. U., Beltrami, F. G. & Spengler, C. M. Effects of Sprint-Interval and Endurance Respiratory Muscle Training Regimens. Med. Sci. Sports Exerc. 51, 361-371 (2019).

**56.** Zafren, K. Prevention of high altitude illness. Travel Med. Infect. Dis. 12, 29-39 (2014).

**57.** Friedlander, A., Braun, B. & Marquez, J. Making molehills out of mountains: Maintaining high performance at altitude. ACSMs Health Fit. J. 12, 15-21 (2008).

**58.** Khodaee, M., Grothe, H. L., Seyfert, J. H. & VanBaak, K. Athletes at High Altitude. Sports Health 8, 126-132 (2016).

**59.** Stellingwerff, T. et al. Nutrition and Altitude: Strategies to Enhance Adaptation, Improve Performance and Maintain Health: A Narrative Review. Sports Med. 49, 169-184 (2019).

**60.** Luks, A. M., Swenson, E. R. & Bärtsch, P. Acute high-altitude sickness. Eur. Respir. Rev. Off. J. Eur. Respir. Soc. 26, 160096 (2017).

**61.** Luks, A. M. et al. Wilderness Medical Society Clinical Practice Guidelines for the Prevention and Treatment of Acute Altitude Illness: 2019 Update. Wilderness Environ. Med. 30, S3-S18 (2019).

**62.** Bergeron, M. F. et al. International Olympic Committee consensus statement on thermoregulatory and altitude challenges for high-level athletes. Br. J. Sports Med. 46, 770-779 (2012).

**63.** Constantini, K., Wilhite, D. P. & Chapman, R. F. A Clinician Guide to Altitude Training for Optimal Endurance Exercise Performance at Sea Level. High Alt. Med. Biol. 18, 93-101 (2017).

**64.** Mont, L. et al. Pre-participation cardiovascular evaluation for athletic participants to prevent sudden death: Position paper from the EHRA and the EACPR, branches of the ESC. Endorsed by APHRS, HRS, and SOLAECE. Eur. J. Prev. Cardiol. 24, 41-69 (2017).

**65.** Asín Cardiel, E., Boraita Pérez, A., Serratosa Fernández, L. & Sociedad Española de Cardiología. Cardio deporte. (2017).

**66.** Pickham, D., Chan, G. & Carey, M. Pre-participation screening for athletes and the role of advanced practice providers. J. Electrocardiol. 48, 339-344 (2015).

**67.** Chatard, J.-C., Mujika, I., Goiriena, J. J. & Carré, F. Screening young athletes for prevention of sudden cardiac death: Practical recommendations for sports physicians. Scand. J. Med. Sci. Sports 26, 362-374 (2016).

**68.** Drezner, J. A. et al. AMSSM Position Statement on Cardiovascular Preparticipation Screening in Athletes: Current evidence, knowledge gaps, recommendations and future directions. Br. J. Sports Med. 51, 153-167 (2017).

**69.** Emery, M. S. & Kovacs, R. J. Sudden Cardiac Death in Athletes. JACC Heart Fail. 6, 30–40 (2018).

**70.** Harmon, K. G., Zigman, M. & Drezner, J. A. The effectiveness of screening history, physical exam, and ECG to detect potentially lethal cardiac disorders in athletes: a systematic review/meta-analysis. J. Electrocardiol. 48, 329–338 (2015).

**71.** Kumar, A. et al. Sudden cardiac death: epidemiology, pathogenesis and management. Rev. Cardiovasc. Med. 22, 147–158 (2021).

**72.** Thompson, P. D. et al. Exercise and acute cardiovascular events placing the risks into perspective: a scientific statement from the American Heart Association Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism and the Council on Clinical Cardiology. Circulation 115, 2358–2368 (2007).

**73.** Sharma, S. et al. International Recommendations for Electrocardiographic Interpretation in Athletes. J. Am. Coll. Cardiol. 69, 1057–1075 (2017).

**74.** Niederseer, D. et al. Role of echocardiography in screening and evaluation of athletes. Heart Br. Card. Soc. heartjnl-2020-317996 (2020) doi:10.1136/heartjnl-2020-317996.

**75.** Kochi, A. N., Vettor, G., Dessanai, M. A., Pizzamiglio, F. & Tondo, C. Sudden Cardiac Death in Athletes: From the Basics to the Practical Work-Up. Med. Kaunas Lith. 57, 168 (2021).

**76.** La Gerche, A. et al. Cardiac imaging and stress testing asymptomatic athletes to identify those at risk of sudden cardiac death. JACC Cardiovasc. Imaging 6, 993–1007 (2013).

**77.** Harmon, K. G. et al. American Medical Society for Sports Medicine position statement on concussion in sport. Br. J. Sports Med. 53, 213–225 (2019).

**78.** Gomez, J. E., Landry, G. L. & Bernhardt, D. T. Critical evaluation of the 2-minute orthopedic screening examination. Am. J. Dis. Child. 1960 147, 1109–1113 (1993).

**79.** Buckthorpe, M., Frizziero, A. & Roi, G. S. Update on functional recovery process for the injured athlete: return to sport continuum redefined. Br. J. Sports Med. 53, 265–267 (2019).

**80.** Rajpal, S. et al. Cardiovascular Magnetic Resonance Findings in Competitive Athletes Recovering From COVID-19 Infection. JAMA Cardiol. 6, 116–118 (2021).

**81.** GINA. Pocket Guide for Asthma Management and Prevention. Global Initiative for Asthma - GINA https://ginasthma.org/pocket-guide-for-asthma-management-and-prevention/ (2021).

**82.** Guzmán, J. M., Solar, I., Fernández, P., Fuentes, G. & Mahecha, S. Asma y broncoconstricción inducida por ejercicio en el deportista de resistencia: actualización en diagnóstico y tratamiento. Rev. Arch. Soc. Chil. Med. Deporte 17 (2021).

**83.** Caussade, S. et al. Actualización de la prueba de provocación bronquial con ejercicio (PPBE). Neumol. Pediátrica 14, 216–221 (2019).

**84.** Mahadevan, S. V. & Strehlow, M. C. Preparing for International Travel and Global Medical Care. Emerg. Med. Clin. North Am. 35, 465–484 (2017).

**85.** Kary, J. M. & Lavallee, M. Travel medicine and the international athlete. Clin. Sports

Med. 26, 489–503 (2007).

**86.** Recommended Vaccines by Disease | CDC. https://www.cdc.gov/vaccines/vpd/vaccines-diseases.html (2021).

**87.** Nacional, B. del C. Biblioteca del Congreso Nacional | Ley Chile. www.bcn.cl/leychile https://www.bcn.cl/leychile (2015).

**88.** Destinations | Travelers' Health | CDC. https://wwwnc.cdc.gov/travel/destinations/list.

**89.** CDC - Parasites - Malaria. https://www.cdc.gov/parasites/malaria/index.html (2021).

**90.** Brainard, A. & Gresham, C. Prevention and treatment of motion sickness. Am. Fam. Physician 90, 41–46 (2014).

**91.** Byard, R. W. Deep venous thrombosis, pulmonary embolism and long-distance flights. Forensic Sci. Med. Pathol. 15, 122–124 (2019).

**92.** Walpurgis, K., Thomas, A., Geyer, H., Mareck, U. & Thevis, M. Dietary Supplement and Food Contaminations and Their Implications for Doping Controls. Foods Basel Switz. 9, E1012 (2020).

**93.** Leung, A. K. C., Leung, A. A. M., Wong, A. H. C. & Hon, K. L. Travelers' Diarrhea: A Clinical Review. Recent Pat. Inflamm. Allergy Drug Discov. 13, 38–48 (2019).

**94.** Roach, G. D. & Sargent, C. Interventions to Minimize Jet Lag After Westward and Eastward Flight. Front. Physiol. 10, 927 (2019).

**95.** Forbes-Robertson, S. et al. Circadian disruption and remedial interventions: effects and interventions for jet lag for athletic peak performance. Sports Med. Auckl. NZ 42, 185–208 (2012).

**96.** Zawilska, J. B., Skene, D. J. & Arendt, J. Physiology and pharmacology of melatonin in relation to biological rhythms. Pharmacol. Rep. PR 61, 383–410 (2009).

**97.** Atkinson, G., Edwards, B., Reilly, T. & Waterhouse, J. Exercise as a synchroniser of human circadian rhythms: an update and discussion of the methodological problems. Eur. J. Appl. Physiol. 99, 331–341 (2007).

**98.** Mistlberger, R. E. & Skene, D. J. Nonphotic entrainment in humans? J. Biol. Rhythms 20, 339–352 (2005).

**99.** American College of Sports Medicine et al. American College of Sports Medicine position stand. Exertional heat illness during training and competition. Med. Sci. Sports Exerc. 39, 556–572 (2007).

**100.** Griggs, K. E., Stephenson, B. T., Price, M. J. & Goosey-Tolfrey, V. L. Heat-related issues and practical applications for Paralympic athletes at Tokyo 2020. Temp. Austin Tex 7, 37–57 (2020).

**101.** Notley, S. R., Flouris, A. D. & Kenny, G. P. On the use of wearable physiological monitors to assess heat strain during occupational heat stress. Appl. Physiol. Nutr. Metab. Physiol. Appl. Nutr. Metab. 43, 869–881 (2018).

**102.** Gibson, O. R. et al. Heat alleviation strategies for athletic performance: A review and practitioner guidelines. Temp. Multidiscip. Biomed. J. 7, 3–36 (2019).

# LINEAMIENTOS DE BIOMECÁNICA DEPORTIVA APLICADA AL ALTO RENDIMIENTO

**Autores:**
Esteban Aedo Muñoz, Alejandro Bustamante, Christopher Moya,
Mauricio Araya, Hugo Cerda Kohler.

# TABLA DE CONTENIDOS


Introducción 157
Objetivos del Área de Biomecánica Deportiva 159
Pilares Estratégicos 160
Pilar de Rendimiento 160
Pilar de Prevención de Lesiones y Enfermedades 161
Pilar de Evidencia Diagnostica, Rehabilitación y Reintegro Deportivo 161
Pilar de Perfeccionamiento, Investigación, Tecnología e Innovación 161
Pilares de Rendimiento Y Prevención de Lesiones 162
Valoraciones Primarias 162
Valoración de la Fuerza 164
Valoración de la Velocidad 186
Valoración de la Flexibilidad 194
Valoración del Control Postural 221
Valoración de la Rigidez o Stiffness 229
Valoraciones Secundarias 252
Análisis de Movimiento en la Técnica Deportiva 253
Electromiografía en la Técnica Deportiva 262
Referencias 269

# INTRODUCCIÓN

La biomecánica contempla variados campos de aplicación, entre ellos el uso clínico, militar, laboral y deportivo. Estas diferentes prestaciones establecen, a su vez, distintos objetos de estudio tales como patologías, lesiones, movimientos militares, actividades laborales y técnicas deportivas, siendo esta última una de las bases en cualquier deporte que se practiqué para obtener rendimientos elevados. La técnica deportiva se ha convertido en un objeto de estudio específico para la biomecánica, dando inicio a la biomecánica deportiva. Para ello, diversas definiciones aparecen en el transcurso de la historia, donde algunas describen la técnica como el resultado de los procesos cognitivos y nerviosos relacionados a la percepción y el pensamiento táctico, contando con las características físicas y el nivel de la habilidad del ejecutor. Corresponde a la fase motora o visible de la acción en el juego, donde la técnica se entiende como un "procedimiento que conduce de manera directa y económica a conseguir un alto resultado"[1]. Se define entonces como un proceso económico, entendido también como la perfecta realización entre el proyecto motor y su realización o como el "modo de consecución de un objetivo motor, señalado por la táctica, teniendo en cuanta el nivel de desarrollo de las características psíquicas y motrices". Por otra parte, Matveev (1985) describe la técnica deportiva como "el modelo ideal de la acción de competición, elaborado sobre la base de la experiencia práctica o teórica en el atleta al realizar la competición, que se caracteriza por tal o cual grado de utilización eficaz por parte de éste y de sus posibilidades de alcanzar el resultado deportivo"[2]. Bayer y Fábregas (1992) interpreta la técnica como una "motricidad híper-especializada, específica de cada actividad buscada y que se expresa a través de un repertorio concreto de gestos y medios que el atleta utiliza para resolver racionalmente, en función de sus capacidades, las tareas que enfrenta"[3]. También se define la técnica como la "secuencia de movimientos organizados, para la resolución de una tarea motora concreta, que está fuertemente determinada por las reglas de competición, de acuerdo a la modalidad deportiva en la que se desempeña". En la que hace mención especial al tema reglamentario por

el cual se deben regir estas técnicas deportivas, Martin y cols. (2016) se refieren a la técnica deportiva como una "secuencia de movimientos experimentada, funcional y eficaz, que sirve para resolver una tarea definida en situaciones deportivas"[4]. Existe además, una clasificación de los deportes en función de la técnica deportiva; especificándola en deportes: Técnica orientada al proceso, Técnica orientada al resultado, y una mixta (**Figura 1**), donde las grandes diferencias corresponden a que el logro deportivo se obtiene mediante elevados niveles del "Modelo Técnico" u "Estilo Técnico", respectivamente[5].

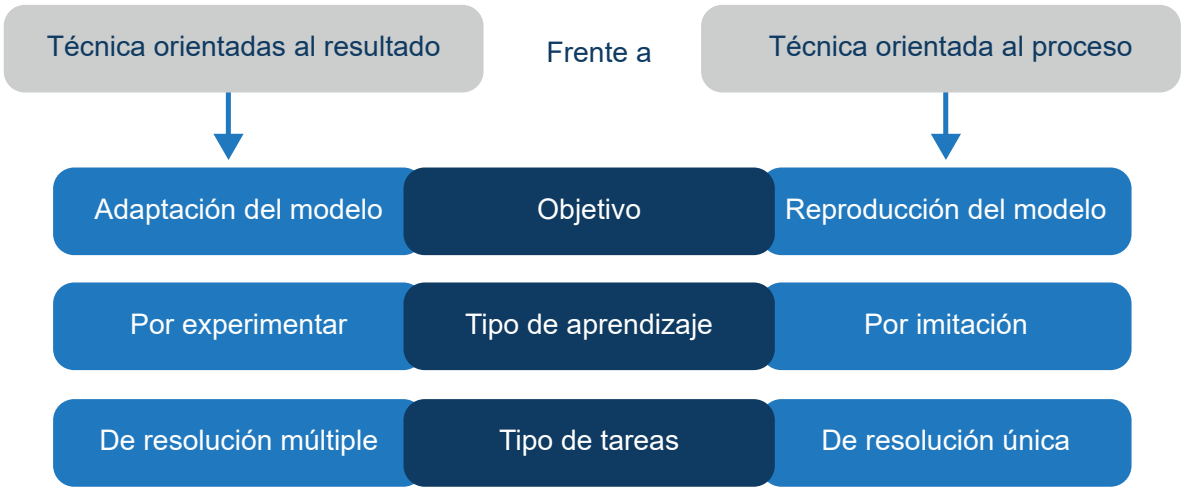



**Figura 1**. Clasificación de los deportes en función de la técnica deportiva (Adpatado de Izquierdo 2008)[5].

Estos aspectos, Modelo Técnico (i.e., perfeccionamiento y optimización, determinando procedimientos racionales (biomecánicos-fisiológicos) de ejecución que representan la respuesta más adaptada a los objetivos y necesidades de la tarea motriz) y Estilo Técnico (i.e., adaptación que cada atleta hace del modelo técnico deportivo a sus características individuales, con la intención de aprovechar el máximo de sus particularidades y obtener rendimiento elevados), conforman el campo de estudio de la Biomecánica Deportiva, mediante la utilización de herramientas que valoren aspectos cinéticos (con plataformas de fuerza, dinamometría prensil y/o celdas de carga), como también aspectos cinemáticos (distancias, posiciones, aceleraciones, velocidades,

trayectorias)[6]. En estos aspectos la utilización de valoraciones biomecánicas para contribuir al proceso de entrenamiento de los atletas se torna relevante en la búsqueda de la perfección de los movimientos de manera eficiente y eficaz para el logro deportivo. Por tanto, el Área de Biomecánica Deportiva, dependiente de la Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte, establece como definición de biomecánica deportiva como el estudio de las fuerzas y sus efectos sobre los humanos en el ejercicio y el deporte; es una subdisciplina de la biomecánica. La biomecánica deportiva es el análisis del movimiento humano interesada en el correcto desarrollo de la técnica deportiva, mediante la observación, descripción y estudio, de manera directa y/o indirecta, del comportamiento mecánico de los tejidos biológicos que conforman el aparato locomotor, en respuesta a las variaciones del medio interno y externo, y su efecto en la generación y estructuración del movimiento durante un gesto deportivo, con el propósito de alcanzar la máxima eficiencia y eficacia del deporte en estudio, así como con el objeto de promover el desarrollo de patrones de movimientos seguros, o simplemente corregir aquellos patrones alterados que pueden ser los causantes de alguna lesión o algún cuadro de disfunción musculo esquelética.

## Objetivos del Área de Biomecánica Deportiva

Los objetivos del Área de Biomecánica Deportiva se entrelazan principalmente con mejorar del rendimiento en el ejercicio o el deporte, prevenir lesiones deportivas y ayudar a la rehabilitación y reintegro deportivo, donde según nuestro rol en la Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte se representan en los siguientes objetivos:

*Objetivos Específicos*

- Apoyar los procesos de entrenamiento deportivo en aspectos biomecánicos.
- Desarrollar valoraciones, reuniones científicas, monitoreo, análisis e informes biomecánicos.

- Generar protocolos de valoración biomecánica para su aplicación hacia el rendimiento deportivo, prevención de lesiones y evidencia clínica.
- Establecer modelos técnicos deportivos nacionales, basados en parámetros biomecánicos.
- Sugerir estilos técnicos en atletas nacionales, basados en parámetros biomecánicos.
- Colaborar con los centros de entrenamiento regionales, programa de Promesas Chile u otra iniciativa ministerial desde aspectos científicos, técnicos, tecnológicos y metodológicos de la biomecánica.
- Liderar procesos de investigación y perfeccionamiento relacionados con la biomecánica deportiva y el rendimiento deportivo.

## Pilares Estratégicos

Los pilares estratégicos de Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte determinarán a su vez los cuatros ejes de desarrollo que el Área de Biomecánica Deportiva desarrollará para cumplir con sus objetivos en acciones hacia los atletas y el deporte de alto rendimiento.

## Pilar de Rendimiento

Conjunto de valoraciones operacionalizadas a través de actividades y procedimientos sistemáticos realizados por un profesional especializado en biomecánica deportiva, con el propósito de valorar aspectos y/o habilidades biomecánicas influyentes en el rendimiento del atleta. Para ello, se han definido dos niveles jerárquicos de valoración: primaria y secundaria, dependiente de las necesidades y posibilidades de los atletas.

## Pilar de Prevención de Lesiones y Enfermedades

Conjunto de valoraciones que busca establecer las condiciones mecánicas en las que se encuentran los tejidos involucrados en un gesto deportivo, así como valorar la presencia de factores de riesgo asociados al deporte practicado, como son el comportamiento de las fuerzas y cargas que actúan en dicho gesto, o el adecuado uso de los distintos implementos deportivos, permitiendo con ello una retroalimentación tanto al atleta y su equipo de trabajo, que les permita tomar las medidas correctivas necesarias, que prevengan la generación de lesiones asociadas a la práctica deportiva.

## Pilar de Evidencia Diagnostica, Rehabilitación y Reintegro Deportivo

Conjunto de valoraciones que buscan pesquisar las causas biomecánicas intrínsecas y extrínsecas que expliquen la persistencia de una lesión o de un cuadro doloroso, que impidan el normal desempeño deportivo, permitiendo además optimizar los tratamientos y monitoreo de los cambios observados a partir de las diferentes intervenciones realizadas durante el proceso de rehabilitación y reintegro del atleta.

## Pilar de Perfeccionamiento, Investigación, Tecnología e Innovación

*Sub-componente de perfeccionamiento*

Conjunto de actividades organizadas curricularmente que buscan la entrega de conocimientos, destrezas y/o actitudes propia de la biomecánica deportiva, a través de procedimientos pedagógicos orientados a profesionales, técnicos, entrenadores o atletas que se relacionen directamente con el rendimiento y/o con la práctica deportiva.

*Sub-componente de investigación, innovación y tecnología*

Conjunto de actividades indagativas que contengan un valor teórico, metodológico y de aplicación práctica en el ámbito del deporte y biomecánica, en concordancia con los lineamientos propios de la Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte que culminen con productos de investigación; posters científicos, revisiones sistemáticas, actas de congreso, artículos científicos o tesis de grado.

# Pilares de Rendimiento Y Prevención de Lesiones

## Valoraciones Primarias

El rendimiento deportivo representa un conjunto de elementos tanto técnicos, tácticos psicológicos, sociales y fisiológicos que se manifiestan de manera coordinada en los distintos niveles competitivos[7], el desarrollo de estos elementos, en los atletas, expresan a su vez el nivel de rendimiento durante su vida competitiva, donde el máximo nivel de resultados en diversos deportes se establece en un avance tanto cualitativo como cuantitativo de las cargas de entrenamiento. Sin embargo, muchos atletas, no logran tolerar de manera óptima este aumento de las cargas siendo uno de las claves de lesiones por sobre-entrenamiento o sobrecarga. Por mucho tiempo se culpó de las lesiones por sobrecarga a los entrenadores y sus manejos de los ejercicios, métodos, sistemas, programaciones, periodizaciones o planificaciones de entrenamientos prescitos a los atletas. En la actualidad, se sabe que la decisión de pasar a un nivel superior a los atletas responde sólo a una estructura de cumplimiento de resultado, sin mencionar en los informes técnico-metodológicos aspectos que sustenten las bases orgánicas del atleta para los desafíos superiores que le serán impuestos. Las valoraciones primarias (**Figura 2**) contemplan una cantidad de pruebas, variables, medidas y parámetros biomecánicos que proporcionan información necesaria, tanto al entrenador, cuerpo técnico y al equipo de monitoreo de ciencias aplicadas al deporte, para dos objetivos: i) asegurar un nivel elevado de rendimiento actual, y ii) disminuir los riesgos y vulnerabilidad de lesionarse. Aquellas

valoraciones primarias orientadas al rendimiento, pretenden establecer como primer objetivo una serie de evidencias que aseguren el nivel de rendimiento manifestado en competencias de su disciplina a través de variables biomecánicas relacionadas. El propósito de estas valoraciones es proporcionar a través de valores y parámetros la ubicación del atleta en el tercio superior del nivel de las variables monitoreadas, proyectando en el siguiente ciclo un desarrollo gradual hacia el nuevo nivel que se desea alcanzar, de manera segura, a través de un procedimiento científicamente organizado. Además, también es posible determinar criterios de rendimiento acorde al nivel deportivos en que se encuentran los atletas. Las valoraciones primarias orientadas a minimizar los riesgos de lesión, se basan en la identificación de factores que puedan producir alguna lesión[8], las que se asocian con el aumento de la carga física. Estos aspectos preventivos se encuentran descritos en la literatura como algunas interrogantes que la biomecánica debe responder: ¿cómo la lesión deportiva puede ser reducida a través de la investigación en biomecánica y sus intervenciones?, ¿cómo los biomecánicos pueden dirigir la retroalimentación de la información pertinente a los mejoramientos del rendimiento o la reducción del riesgo de lesión? y, ¿de qué manera se ayuda en la generación de recursos tecnológicos y ergonómicos para los atletas, con los fines de optimización técnica y prevención de lesiones?[9]. Algunos autores plantean que es necesario identificar las variables que pueden incrementar la vulnerabilidad de los atletas a lesionarse[10], entre las que se detallan algunos indicadores biomecánicos como laxitud articular[11], flexibilidad[12,13], asimetrías y ratios[14,15], índices, tiempos o variables temporales[16] y variabilidad de los registros.

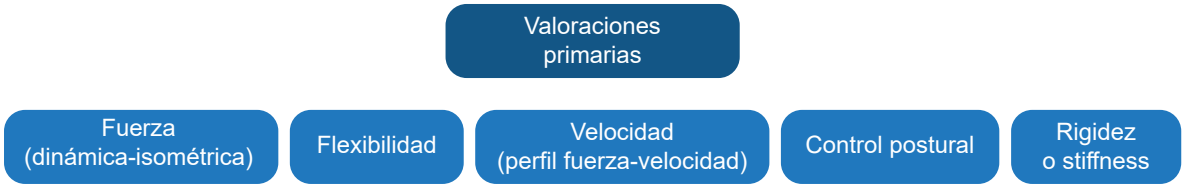



**Figura 2**. Valoraciones primarias en Biomecánica Deportiva UCAD.

## Valoración de la Fuerza

En mecánica, la fuerza se define como toda interacción que produce o tiende a producir movimientos, deformaciones, reacciones y rupturas sobre un cuerpo[5]. La fuerza es una magnitud vectorial, siendo su unidad de medida el newton (N), que se define como la fuerza aplicada a una masa de 1 kg que provoca una aceleración de 1 $m/s^2$ en la dirección de la fuerza aplicada. La fuerza es un vector, por lo cual está compuesta por magnitud, dirección, punto de aplicación de la fuerza y línea de acción de la fuerza. Basándonos en la segunda ley de Newton, ley de la aceleración, la fuerza se puede describir a través de la siguiente ecuación:

**Fuerza=masa*aceleración**

## Leyes de movimiento o leyes de Newton

*Primera ley de Newton: Ley de la inercia*

La inercia de un cuerpo es la resistencia que opone a cambiar su estado de reposo o movimiento a velocidad constante, y esta relacionada directamente con la masa del cuerpo. Isaac Newton define la primera ley como "un cuerpo permanecerá en estado de reposo o movimiento uniforme hasta que su estado sea modificado por fuerzas externas". En el deporte, vemos la expresión de esta ley en movimientos como lanzamientos, saltos y carreras ya que fuerzas externas como la gravedad, resistencia del viento o las fuerzas de roce harán que el cuerpo modifique su velocidad.

*Segunda ley de Newton: Ley de la aceleración*

"El cambio en el estado de un cuerpo es proporcional a la magnitud de la fuerza y se da en la misma dirección de la aplicación de ésta". Esta afirmación se expresa con la siguiente fórmula matemática:

**F=m*a**

donde **F** es la fuerza externa, **m** es la masa del cuerpo y **a** la aceleración. Ahora bien, la mayoría de las fuerzas que se ejercen sobre un cuerpo cambian con el tiempo y si esta fuerza se mantiene durante un tiempo el cuerpo acelerará hasta una determinada velocidad final calculada como $v=a*t$, por lo cual la ecuación anterior queda:

$$\mathbf{F*t=m*\Delta v}$$

siendo **F*t** denominado impulso mecánico, expresado en newton por segundo *(N*s)* y $m*\Delta v$ definido como la cantidad de movimiento expresado en kilogramos por metro partido por segundo (**Kg*m/s**). La generación de impulso es fundamental para muchas acciones deportivas, sobre todo en aquellos que requieren de lanzamientos, saltos y golpeos.

*Tercera ley de Newton: Ley de acción y reacción*

Cuando dos cuerpos interaccionan, generan fuerzas entre si. El efecto de una fuerza sobre un cuerpo se denomina "acción" y el efecto inverso de la fuerza sobre el mismo cuerpo se denomina "reacción". Es así como Newton establece que "a toda fuerza de acción le corresponde una fuerza del mismo módulo y dirección, pero en sentido contrario". El ejemplo más claro de esta ley es durante la carrera o el salto en donde un atleta ejerce una fuerza sobre el piso y éste se la devuelve con la misma magnitud y dirección, pero en sentido contrario, permitiendo así que el atleta avance en el caso de la carrera o se eleve en el caso del salto. El ser humano puede moverse, oponerse a fuerzas externas y adaptarse al medio ambiente mediante la generación de fuerza a través de su masa muscular[17].

# Importancia de la fuerza en el rendimiento y la prevención de lesiones

*Rendimiento*

Esta fuerza muscular se define como como la habilidad de generar fuerza contra una objeto externo o resistencia y en el ámbito del deporte, la fuerza muscular se expresa en: i) actividades donde se debe vencer la propia masa corporal (carreras y saltos), ii) manipular la masa corporal propia más la de un oponente (lucha, rugby) o iii) manipular un implemento o proyectil (béisbol, levantamiento de pesas, lanzamientos)[19]. Por otro lado, algunas variables como la tasa de desarrollo de la fuerza (TDF) (o *rate of force development* (RFD)) y altos niveles de potencia mecánica externa son las dos principales características de la fuerza para la mejora de rendimiento[20].

*Tasa de desarrollo de la fuerza*

La TDF se define como la tasa de aumento de la fuerza contráctil al comienzo de una acción muscular[21] y se obtiene a partir de la pendiente de la curva fuerza-tiempo (**Δfuerza/Δtiempo**). La TDF esta relacionada con el rendimiento tanto en tareas deportivas como en actividades funcionales y es sensible para detectar cambios agudos y crónicos en la función neuromuscular (**Figura 3**)[22].

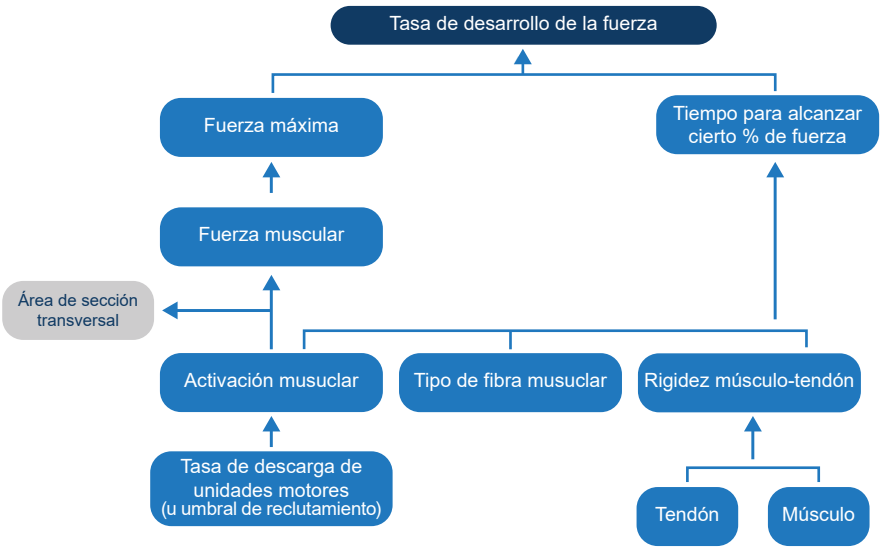


**Figura 3**. Factores que afectan la tasa de desarrollo de la fuerza (Adaptado de Maffiuletti y cols. 2016) [22].

Generalmente, las pruebas para la evaluación de la TDF son pruebas máximas de características isométricas, aunque distintos estudios han evaluado la TDF en pruebas dinámicas, principalmente saltos (**Figura 4**).

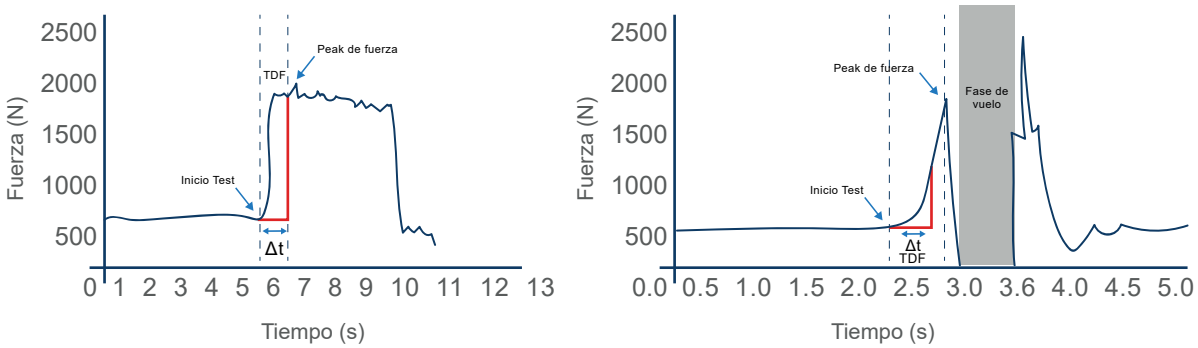



**Figura 4**. Ejemplo de curva fuerza-tiempo de un test máximo isométrico y dinámico.

*Potencia mecánica externa*

La potencia mecánica externa o potencia de salida (power output en inglés) es la suma coordinada de las potencias articulares de un movimiento[19] y que se ve reflejada físicamente en distintas acciones como en la aceleración, velocidad y desplazamiento ya sea de la masa del atleta (sprint, saltos, cambios de dirección) o en el implemento deportivo, como en el caso de los lanzamientos en el atletismo. La relación inversa entre la fuerza que puede generar un músculo y la velocidad a la que se contrae a menudo se representa mediante una curva característica en la que la cantidad de fuerza que puede generar una acción muscular concéntrica disminuye a medida que aumenta la velocidad del movimiento (**Figura 5**) [23].

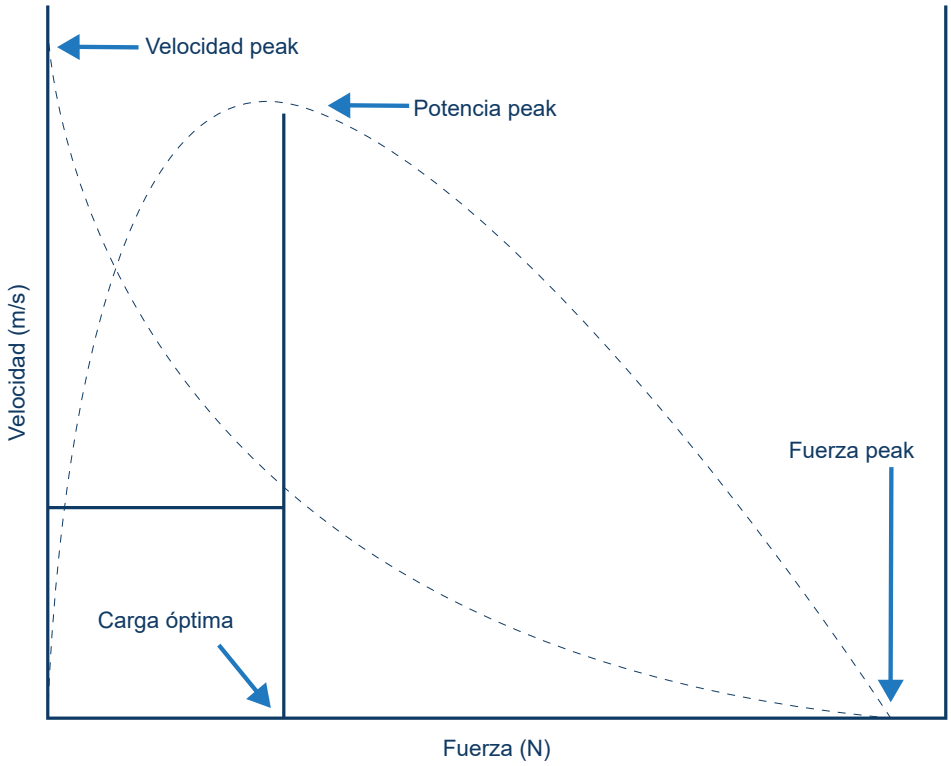



**Figura 5**. Curva característica que muestra la relación fuerza-velocidad y fuerza-potencia (Adaptado de Haff y Nimphius 2012)[23].

La carga óptima es la carga que provoca la máxima potencia de salida para un movimiento específico (**Figura 6**). Se sugiere que la carga óptima es un estímulo eficaz para mejorar la producción de potencia. Sin embargo, hay muy pocos estudios que hayan apoyado esta afirmación. Por el contrario, varios otros estudios sugieren que entrenar con la carga óptima no es más efectivo que entrenar con cargas pesadas o con modelos de carga mixta cuando se trata de maximizar el desarrollo de la potencia[23]. También se ha sugerido que determinar el perfil fuerza-velocidad permitiría determinar las cargas de una más individualizada[24], por lo que esa valoración se debe tener en cuenta a la hora de optimizar el proceso de entrenamiento.

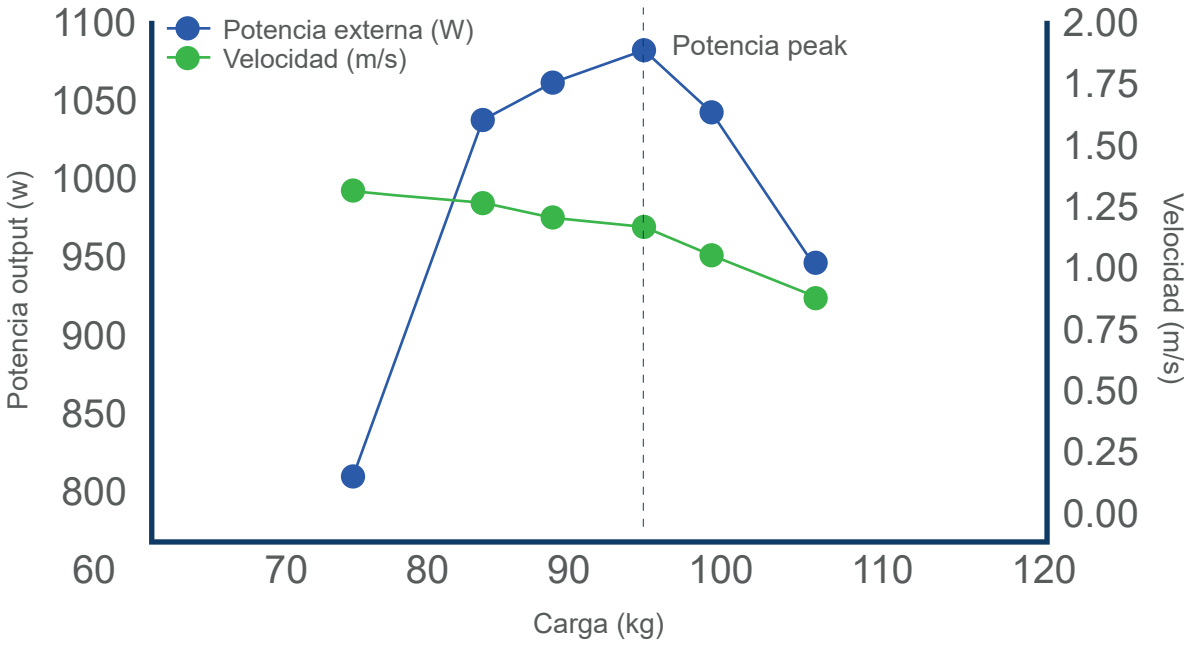



**Figura 6**. Valoración del pico de potencia en ejercicio sentadilla con salto en un atleta de alto rendimiento de Chile. En el gráfico se observa que el pico de potencia se obtiene con una carga total de 95 kg (peso corporal de 63 kg + 32 kg).

Si bien la fuerza es un componente de la condición física relevante para el éxito deportivo, la prevención de lesiones es otra preocupación que los entrenadores y atletas deben considerar al momento de planificar y desarrollar los entrenamientos. Una lesión limita al atleta a disminuir o incluso suspender los entrenamientos, y en el caso de los deportes de conjunto, priva al equipo de contar con los aportes del atleta lesionado. El entrenamiento de la fuerza genera variadas respuestas que pueden disminuir el riesgo de sufrir lesiones o aminorar la gravedad de estas, lo cual podría estar dado por las adaptaciones óseas, del tejido conectivo y adaptaciones musculares inducidas por el entrenamiento de la fuerza.

## Prevención de lesiones

La prevención eficaz de las lesiones deportivas podría beneficiar a un amplio espectro de personas involucradas en cualquier forma de ejercicio. Si bien el tratamiento de las lesiones deportivas puede ser

problemático, lento y costoso, la prevención en forma de entrenamiento de fuerza ha demostrado ser accesible, eficaz y de bajo costo. No obstante, al igual que con el campo de la prevención de lesiones deportivas en general, la mayoría de los estudios de entrenamiento de fuerza tienen deficiencias con respecto a la especificación completa de las lesiones y la distinción entre lesiones agudas y por sobreuso. Algunos estudios apoyan la noción de que las lesiones por sobreuso ocurren cuando los tejidos están sobrecargados crónicamente, y se sugiere que los mecanismos preventivos, además de simplemente evadir los desencadenantes del dolor o reducir la cantidad de entrenamiento/competencia en períodos de carga, podrían incluir el pre-acondicionamiento, la variación de los ejercicios para aliviar los tejidos y cargas y transferencia de una mejor coordinación/técnica de un programa de prevención de entrenamiento de fuerza, alterando potencialmente de manera beneficiosa la distribución de la carga en los tejidos y articulaciones. Aunque la evidencia y los programas de entrenamiento de fuerza se desarrollan continuamente, los principios y recomendaciones actuales siguen siendo importantes para los atletas en la actualidad y para dirigir investigaciones futuras. Algunos factores etiológicos de las lesiones deportivas sugeridas en la literatura como susceptibles a las medidas de prevención de lesiones las asimetrías de fuerza (e.g., bajo ratio de fuerza de los isquiotibiales:cuádriceps), fatiga muscular, tensión muscular, calentamiento inadecuado y lesiones previas. Además, se ha presumido que estos factores de riesgo son aditivos, y se ha planteado la hipótesis de que superar un umbral de factores de riesgo acumulados da lugar a una lesión, por lo que el monitoreo de estas variables cobra relevancia para prevenir lesiones en atletas. Se han propuesto factores etiológicos similares para las lesiones de tobillo e incluso pueden ser aplicables a múltiples lesiones deportivas múltiples. La fuerza insuficiente de los "músculos del CORE" también han sido propuestos como un factor de riesgo importante de lesiones sobre la base de una mala transferencia biomecánica de las cargas, lo que ilustra la complejidad de las lesiones deportivas. A la complejidad de las lesiones deportivas agudas se suma la cuestión de las capacidades cognitivas y espaciales individuales, el equilibrio

postural y las habilidades de coordinación, y nuevas áreas de investigación como el funcionamiento de las cadenas musculares y el papel de las fascias musculares coherentes en todo el cuerpo[25].

## Métodos de valoración de la fuerza

*Pruebas de repetición máxima (1RM)*

La prueba 1RM se define como la máxima cantidad de peso que un sujeto es capaz de levantar una vez en un movimiento en específico[18,26] y si bien la valoración puede consumir mucho tiempo, muchos investigadores la consideran la prueba de oro para la valoración de la fuerza dinámica [18,26]. Existen principalmente dos maneras de valorar 1RM: i) mediante una prueba con cargas progresivas, donde su 1RM será la última carga superada con éxito y, ii) mediante pruebas de máximas repeticiones con una carga establecida que, mediante fórmulas propuestas, con altos niveles de confiabilidad, permiten predecir 1RM [27]. La prueba de 1RM presenta excelentes resultados de confiabilidad independiente de la experiencia del atleta, el número de sesiones de familiarización, el tipo de ejercicio seleccionado, el sexo y edad[28].

*Valoración perfil carga-velocidad*

La valoración de 1RM es útil porque permite prescribir ejercicio de fuerza en base a porcentajes del máximo, pero se ha cuestionado su seguridad por el alto estrés muscular, óseo y carga sobre ligamentos[29]. Junto con ello, el valor de la RM puede cambiar muy rápidamente después de unas pocas sesiones de entrenamiento[30]. Como alternativa de valoración y entrenamiento de la fuerza en el campo deportivo, se encuentra el monitoreo de la velocidad con la que se desplaza una carga, entendiendo que existe una relación lineal inversa entre la carga levantada y la velocidad de desplazamiento: a medida que la carga aumenta, la velocidad disminuye (**Figura 7**)[31].

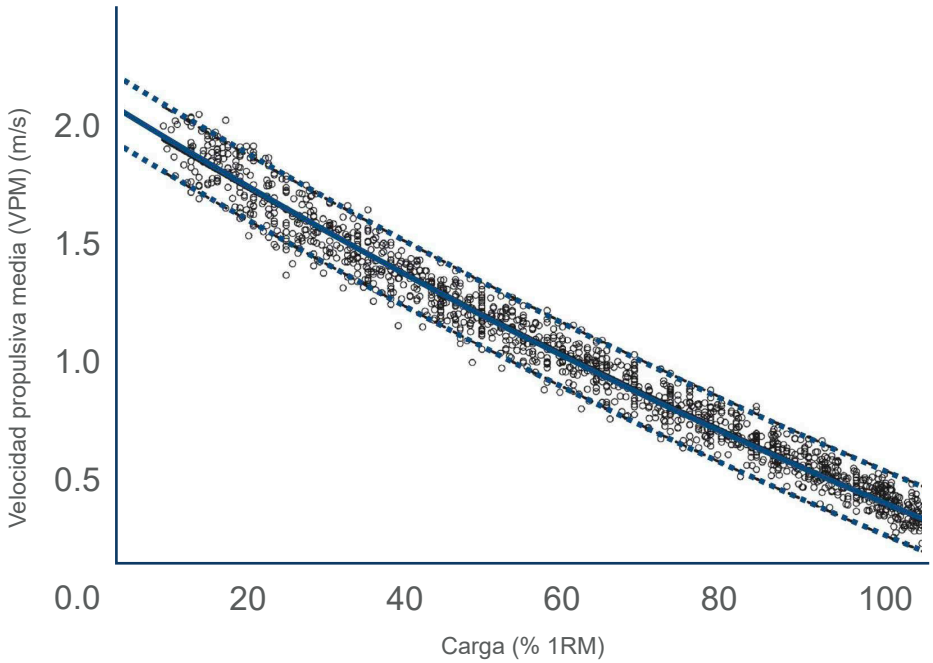



**Figura 7**. Relación lineal inversa entre la velocidad media propulsiva (m/s) y la carga movilizada (% de la RM) (Adaptado de González-Badillo y Sánchez-Medina 2010)[30].

Valorar la velocidad de desplazamiento de carga permite, entre otras aplicaciones, estimar la RM mediante el monitoreo de la velocidad de cargas submáximas, utilizando la ecuación de regresión polinómica de segundo orden y generando el perfil carga-velocidad de cada atleta (**Figura 8**)[32].

| % 1RM | Velocidad media (m/s) |
|---|---|
| 20 | 1.41 |
| 40 | 1.16 |
| 60 | 0.86 |
| 80 | 0.55 |
| 90 | 0.40 |

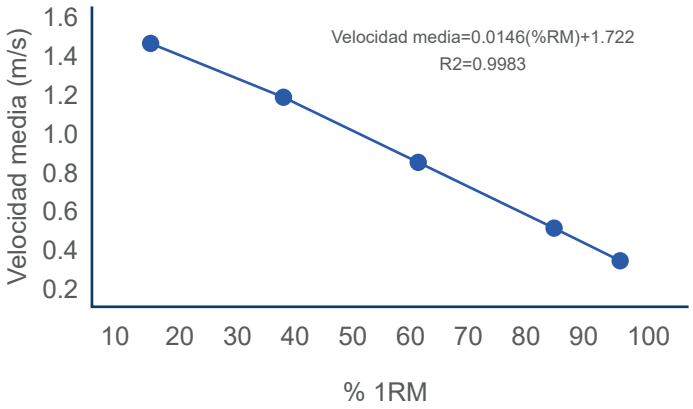



**Figura 8.** A) Construcción de perfil carga-velocidad en el ejercicio de sentadilla con barra, B) regresión lineal y ecuación de regresión de

segundo orden de un atleta en el ejercicio sentadilla con barra (Adaptado de Weakley y cols. 2021)[32].

Por último, distintos dispositivos para la valoración de la velocidad de desplazamiento de la carga se han diseñado, entre ellos acelerómetros y transductores lineales[33] o incluso aplicaciones para teléfonos móviles[34].

*Uso de dinamometría para la valoración de la fuerza*

Dentro de los distintos dispositivos usados para la valoración de la carga de entrenamiento se encuentran las herramientas dinamométricas que permiten le medición de la fuerza ejercida sobre estas basándose en la 3ra ley de Newton. Entre las más populares están las plataformas de fuerza, que son dispositivos que miden la fuerza de reacción del piso y los momentos implicados en los movimientos humanos[35]. Los datos temporales que las plataformas de fuerza entregan suelen presentar características que pueden utilizarse para predecir rendimiento, clasificar patrones de movimiento y para evaluar la fatiga neuromuscular (FNM), esta última definida como la disminución de la capacidad del individuo o de un músculo de generar fuerza o potencia tras un período de recuperación[36]. Con los datos obtenidos por las plataformas de fuerza y utilizando fórmulas clásicas de la física, es posible obtener una gran cantidad de información, de hecho, de un salto con contramovimiento (CMJ) es posible determinar un alto espectro de variables[37,38]. Entre las variables monitoreadas utilizando dinamometría se encuentran:

- Picos de fuerza (absoluto y relativo a la masa corporal).
- Picos de potencia (absoluto y relativo a la masa corporal).
- Impulso.
- Tasa de desarrollo de la fuerza (absoluto y relativo a la masa corporal).
- Tasa de desarrollo de la potencia (absoluto y relativo a la masa corporal).

*Frecuencia en las valoraciones de fuerza*

Distintos estudios muestran mejoras en la fuerza, potencia y rendimiento funcional después de pocas semanas de entrenamiento[39] por lo cual la valoración de la fuerza se debe realizar en forma periódica. Desde el punto de vista metodológico, resulta difícil monitorear de manera continua, por el tiempo que se requiere para las pruebas, pero como UCAD recomendamos monitorear al inicio del primer período de entrenamiento como valoración inicial y luego al finalizar cada período con una periodicidad de 4 a 6 semanas. Junto con ello, es posible realizar monitoreos semanales como por ejemplo la valoración del salto sobre plataformas de fuerza para determinar fatiga neuromuscular y así adaptar las sesiones de entrenamiento.

*Pruebas utilizadas para la valoración de la fuerza*

*Consideraciones iniciales*

Las pruebas de fuerza que a continuación se presentan tienen como característica que son esfuerzos máximos de corta duración (3 a 5 segundos), aunque cada prueba se repite un mínimo 3 veces, por lo cual la recomendación general para el día de las valoraciones es que el atleta haya descansado el día anterior o que su carga de entrenamiento haya sido ligera. Cada prueba presenta una fase de enseñanza del movimiento y un calentamiento específico, pero la activación general es individual a cada atleta y la duración debe ser de 10 a 20 minutos. Recomendamos realizar una activación general con trote, cicloergómetro o remoergómetro (elección del atleta) con una intensidad leve y ejercicios de elongación general. Finalmente, en las pruebas de características isométricas, el calentamiento específico siempre será el mismo:

- 1 esfuerzo de 5 segundos al 50% del esfuerzo percibido.
- 1 esfuerzo de 5 segundos al 70% del esfuerzo percibido.
- 1 esfuerzo de 3 segundos al 90% del esfuerzo percibido.
- Las pausas entre esfuerzos son de 1 minutos.

## Valoración de la fuerza extremidad superior

La habilidad de expresar altos niveles de fuerza de la extremidad superior ha sido identificada como una cualidad importante del rendimiento de atletas de elite[20] y la potencia output de las extremidades superiores es una característica fundamental de muchos deportes explosivos de corta duración[40].

## Push up isométrico

La producción de fuerza y potencia muscular de las extremidades superiores es una característica fundamental y muy deseable en una serie de deportes explosivos de corta duración. Debido a que la producción de potencia muscular de las extremidades superiores se considera una habilidad de movimiento principal y un aspecto clave del rendimiento deportivo y atlético, es importante identificar formas de valorar la capacidad de un atleta para producir fuerza en las extremidades superiores para no solo comprender el potencial de rendimiento de un individuo, sino también para monitorear los efectos de un programa de entrenamiento, el desarrollo atlético a largo plazo y la identificación de talentos[40]. Las valoraciones de fuerza que utilizan una contracción isométrica máxima se han vuelto más comunes en la fuerza y el entrenamiento porque son más eficientes en el tiempo, minimizan el riesgo de lesiones y se han asociado con el rendimiento dinámico [41].

*Protocolo de valoración:*

**Requisitos óptimos:** si existe un error técnico durante la ejecución de la prueba, se debe descartar el intento y repetir.

**Contraindicaciones y precauciones:** haber entrenado fuerza con cargas importantes que generen alguna molestia o impedimento en la producción de fuerza.

**Calentamiento:** finalizado un período de calentamiento general, el 3 repeticiones submáximas (al 50-70 y 90% del percibido).

**Preparación:** se debe colocar un cinturón en la zona torácica el cual debe estar fijado en una superficie inamovible. El cinturón debe ajustarse para que la flexión de codos al momento de empujar este cercano a los 100 grados (**Figura 9**)[41].

**Ejecución:** la indicación es "empuja el suelo lo más fuerte posible" durante 5 segundos, asegurándose de mantener el tronco y la parte inferior del cuerpo de manera alineada.

*Materiales:*

Placas de fuerza, una para cada extremidad superior; un cinturón anclado; un goniómetro.

**Figura 9**. Representación del Push-Up Isométrico.

## Countermovement push-up (CMPU)

La producción de potencia muscular de la extremidad superior es un aspecto clave del rendimiento atlético y deportivo. La potencia máxima describe la capacidad de producir potencia con máxima velocidad en el

punto de lanzamiento, impacto o despegue, y las investigaciones destacan que cuanto mayor es la capacidad de un atleta para producir potencia máxima, mayor es la mejora en el rendimiento deportivo. Los parámetros cinéticos derivados de la plataforma de fuerza durante un countermovement push-up son mediciones confiables de la potencia en atletas[40] por lo que son una alternativa a la hora de monitorear variables de fuerza en las extremidades superiores.

*Protocolo de valoración*

**Requisitos óptimos:** si existe un error técnico durante la ejecución de la prueba, se debe descartar el intento y repetir.

**Contraindicaciones y precauciones:** haber entrenado fuerza con cargas importantes que generen alguna molestia o impedimento en la producción de fuerza.

**Calentamiento:** finalizado el período de calentamiento general, el sujeto puede practicar las veces que desee el CMPU hasta que sienta cómodo el movimiento.

**Preparación:** el atleta monitoreado debe ubicar sus manos sobre plataformas de fuerza con hombros en flexión de 90 grados, con el torso, los codos y las piernas extendidas. Maléolos y pies juntos.

**Ejecución:** luego de 3'' en la posición descrita en la fase de preparación, el atleta baja su torso hacia las plataformas lo más rápido posible y a continuación debe empujar con sus manos las placas de fuerza buscando elevar su torso lo más alto posible. Se deben mantener los codos extendidos en la fase aérea y luego aterrizar con ambas manos (**Figura 10**).

*Materiales*

Plataformas de fuerza que logren registrar con un mínimo de 500 Hz.

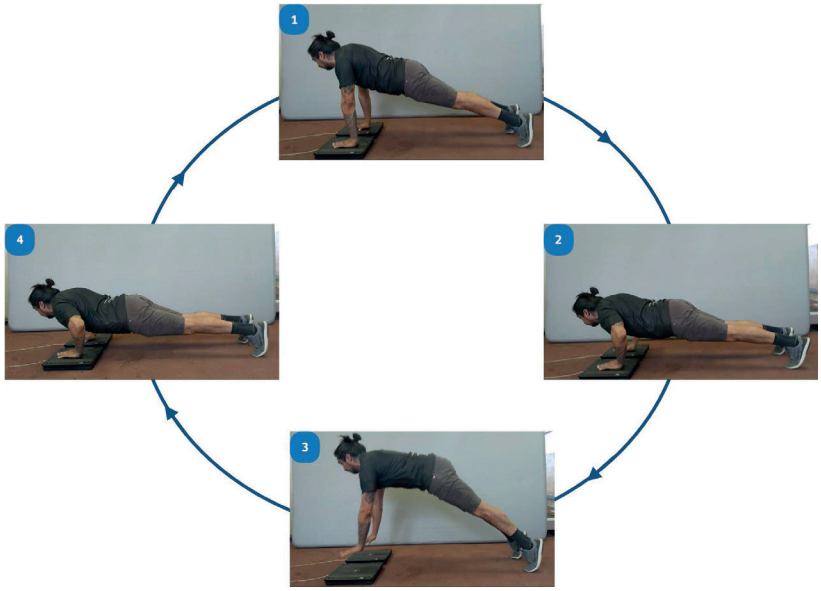



**Figura 10**. Representación de la prueba CMPU.

*Tablas de valoración*

La curva fuerza-tiempo del CMPU es similar al salto con contramovimiento, por lo cual se podrían determinar distintas variables. Las más utilizadas son:

- Pico de fuerza.
- Fuerza promedio.
- Pico de tasa de desarrollo de la fuerza.
- Tiempo hasta el pico de fuerza.
- Tiempo de vuelo.
- Impulso.

**Tabla 1**. Valores de referencia en atletas y confiabilidad del test push-up con contramovimiento[40].

| Variable | Intento 1 | Intento 2 | CV% (95CI) |
|---|---|---|---|
| Pico de fuerza (N) | 1175 ± 208 | 1203 ± 206 | 7.6 (5.5-12) |
| Fuerza promedio (N) | 494 ± 58 | 483 ± 57 | 4.8 (3.5-7.7) |
| TDF (N/s) | 6890 ± 1754 | 7007 ± 2290 | 11 (8-18) |
| Tiempo hasta el pico de fuerza (ms) | 175 ± 25 | 180 ± 35 | 5.8 (4.2-9.3) |
| Tiempo de vuelo (ms) | 450 ± 145 | 491 ± 160* | 6.9 (5-11) |
| Impulso (N*s) | 254 ± 28 | 259 ± 32 | 4.3 (3.1-6.9) |

* indica una diferencia significativa con el intento 1 (p <0,05); TDF = tasa de desarrollo de la fuerza; CV% = coeficiente de variación; IC = intervalo de confianza.

# Tracción Isométrica (Isometric Pull-up)

El Isometric Pull-up (IPU) es un test diseñado para valorar la fuerza de tracción de las extremidades superiores. A continuación, se presenta una modificación del test IPU, originalmente usado para monitorear a escaladores[42].

*Protocolo de valoración*

**Requisitos óptimos previos:** si existe un error técnico durante la ejecución de la prueba, se debe descartar el intento y repetir.

**Contraindicaciones y precauciones:** haber entrenado fuerza con cargas importantes que generen alguna molestia o impedimento en la producción de fuerza.

**Calentamiento:** finalizado el período de calentamiento general, el atleta debe practicar 3 repeticiones submáximas, realizadas al 50-70 y 90% del percibido.

**Preparación:** el evaluado debe levantarse hasta lograr un ángulo de 90 grados de abducción de hombros y 90 grados de flexión de codos (en donde la cuerda que sostiene la celda de carga se tensa) y mantiene esa posición 1'' aproximadamente.

**Ejecución:** luego de ello se le insta al atleta que realice una dominada lo más rápido y fuerte posible y debe mantener la posición entre 3 a 5 segundos (**Figura 11**).

*Materiales*

Celda de carga; barra para agarre; cinturón para fijar la celda de carga.

**Figura 11**. Esquema representativo de la prueba de tracción isométrica.

## Tablas de valoración

Entre las variables más usadas en la prueba son:

- TDF 50 ms
- TDF 100 ms
- TDF 150 ms
- TDF 200 ms
- TDF 250 ms
- Tiempo hasta el pico de fuerza
- Pico de fuerza

Si bien la TDF es una variable comúnmente utilizada en test isométricos, en el caso del test IPU sus niveles de variación son altos[42] y no se determinan valores normativos en la actualidad, pero podrían utilizarse algunos manejos estadísticos como el cambio mínimo sustancial (*SWC*; ver **Capítulo 1**).

# Valoraciones de fuerza para extremidad inferior

## Isometric Mid-Thigh Pull (IMTP)

El IMTP es una prueba ampliamente utilizado para la valoración de la fuerza máxima y la velocidad de aplicación de ésta[43]. Utilizando la curva fuerza-tiempo es posible determinar un alto espectro de variables, tales como: pico de fuerza (absoluto y relativo) y TDF con distintos intervalos de tiempo (que da como resultado una mayor confiabilidad en comparación con la TDF desde el inicio del test hasta el pico de fuerza).

*Protocolo de valoración*

**Requisitos óptimos previos:** antes de realizar el calentamiento específico, se debe enseñar y corregir la técnica del gesto a realizar.
Contraindicaciones y precauciones: haber entrenado fuerza con cargas importantes que generen alguna molestia o impedimento en la producción de fuerza.

**Calentamiento:** finalizado el período de calentamiento general, el atleta debe practicar 3 repeticiones submáximas, realizadas al 50-70 y 90% del percibido.

**Preparación:** el atleta debe estar sobre las plataformas de fuerza con sus manos en pronación tomando firmemente la barra. Esta permitido el uso de amarres para las manos y/o el uso de magnesio para evitar que deslizamiento de estas. Las rodillas deben estar flexionadas entre 125 y 140º y las caderas flexionadas entre 140º y 150º. El tronco debe estar erguido con el pecho apuntando hacia delante (**Figura 12**).

**Ejecución:** se realizan 3 intentos máximos de duración de 5 segundos con descanso de 2 minutos entre esfuerzos. La indicación es "...tira tan fuerte y rápido como puedas, empuja el suelo, empuja con tus pies contra el suelo y la barra desde el suelo...". El conteo previo al esfuerzo es " 3, 2, 1, ¡Tira!".

*Materiales*

Plataformas de fuerza; estructura diseñada específicamente para el test, o en su defecto se puede realizar en una máquina Smith; goniómetro.

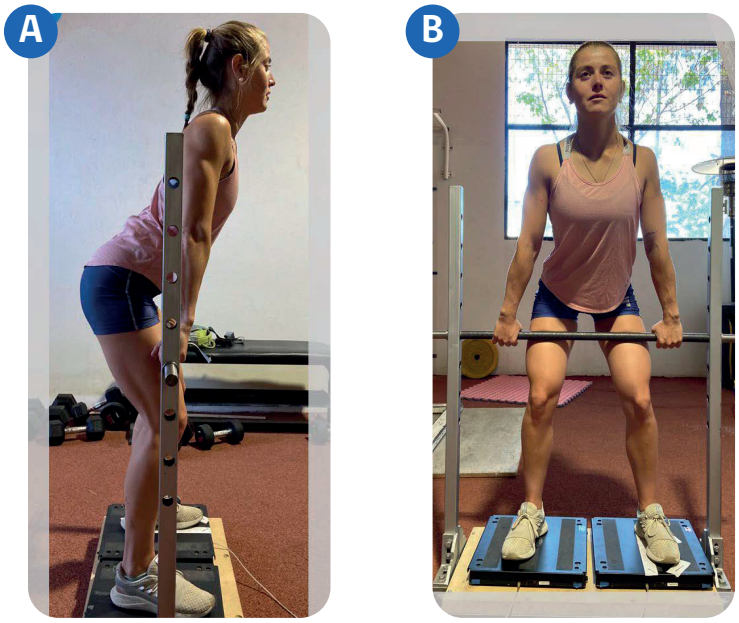



**Figura 12**. Representación gráfica de la técnica adoptada durante la ejecución de la prueba IMPT.

## Saltabilidad

La altura del salto es considerado uno de los factores más importantes en muchos deportes[44] como en el vóleibol o el básquetbol. Distintos métodos son usados para la valoración de la altura del salto: cálculo del desplazamiento del centro de masa mediante técnicas de video consideradas como la medición de oro, plataformas de contacto que presentan altos niveles confiabilidad[44], transductores lineales, acelerómetros[45] y plataformas de fuerza mediante la curva fuerza-tiempo[46]. Si bien la altura del salto es el indicador más usado, esta variable no demuestra la potencia de salida de las extremidades inferiores[47] por lo cual es necesario considerar otras variables como pico de potencia, pico de velocidad, tiempo de vuelo o fuerza a velocidad cero para determinar factores que afecten el rendimiento[38]. Las pruebas de saltabilidad que contemplarán las valoraciones primarias son el salto

desde sentadilla o squat jump (SJ) y el salto con contramovimiento o countermovement jump (CMJ).

## Salto desde Sentadilla o Squat Jump (SJ)

El salto vertical es una prueba común que se utiliza para valorar las características de rendimiento de la parte inferior del cuerpo. La prueba SJ se utiliza para valorar el rendimiento de los saltos en la fase concéntrica. También se ha demostrado que las valoraciones de SJ (denominadas saltos estáticos o sentadillas) son muy confiables. Tal como ocurre con las pruebas de CMJ, se requiere una familiarización limitada con poblaciones adultas entrenadas[48].

*Protocolo de evaluación*

**Requisitos óptimos previos:** se deben registrar al menos 3 saltos SJ, enfatizando en saltar "lo más rápido y alto posible" y manteniendo las rodillas extendidas en la fase área. Junto con ello, debemos procurar que el atleta amortigüe correctamente al momento de caer y vuelva inmediatamente a la posición de pie. Los descansos entre intentos son de 1 minuto.

**Contraindicaciones y precauciones:** lesiones en rodilla o cadera, además de algunas patologías musculo-esqueléticas que impidan el desarrollo de la prueba.

**Calentamiento:** el atleta debe realizar 3 saltos de práctica SJ con pausas de 1 minuto entre intentos[14].

**Preparación:** salto vertical que inicia de la posición semi-sentadilla con ambas manos apoyadas en las cadera[49] .

**Ejecución:** el atleta debe permanecer en la postura de preparación durante 4 segundos y luego saltar lo más rápido y alto posible sin realizar un contramovimiento (**Figura 13**). La profundidad de la sentadilla es individual para cada atleta.

*Materiales*

Plataformas de fuerza.

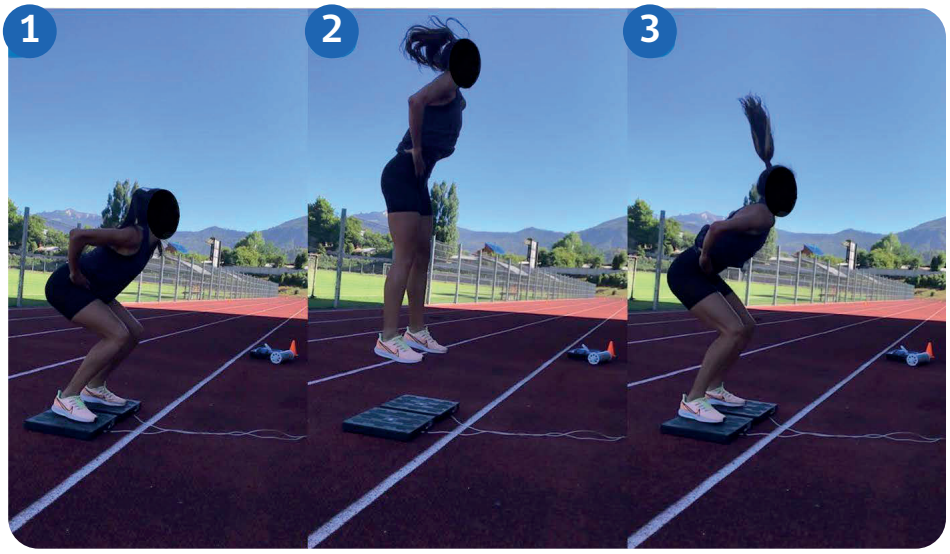



**Figura 13**. Posición de inicio y secuencia del salto SJ. La profundidad de la sentadilla es individual en cada atleta.

## Salto con Contramovimiento o Countermovement jump (CMJ)

Una de las pruebas más utilizadas en la actualidad es el CMJ, que involucra realizar un salto vertical rápido para alcanzar la altura máxima con las manos en las caderas. El rendimiento del ciclo de estiramiento-acortamiento (SSC) es un componente común de los protocolos de prueba para los atletas. La prueba de CMJ se puede utilizar para monitorear el rendimiento del SSC con una altura de salto mayor con utilización excéntrica en comparación con el SJ, donde el salto se realiza sin contramovimiento. Las pruebas de CMJ para la altura del salto tienen una fiabilidad excelente. Se han probado muchas otras variables y, en general, tienen muy buena confiabilidad, aunque esto se ve afectado por la población, el equipo y el método de análisis utilizados. Se requiere una cantidad limitada de familiarización para las pruebas de CMJ, particularmente con los atletas[48].

*Protocolo de valoración*

**Requisitos óptimos previos:** se deben registrar al menos 3 saltos CMJ, enfatizando en saltar "lo más rápido y alto posible" y manteniendo las rodillas extendidas en la fase área. Junto con ello, debemos procurar que el atleta amortigüe correctamente al momento de caer y vuelva inmediatamente a la posición de pie. Los descansos entre intentos son de 1 minuto.

**Contraindicaciones y precauciones:** lesiones en rodilla o cadera, además de algunas patologías musculo-esqueléticas que impidan el desarrollo de la prueba.

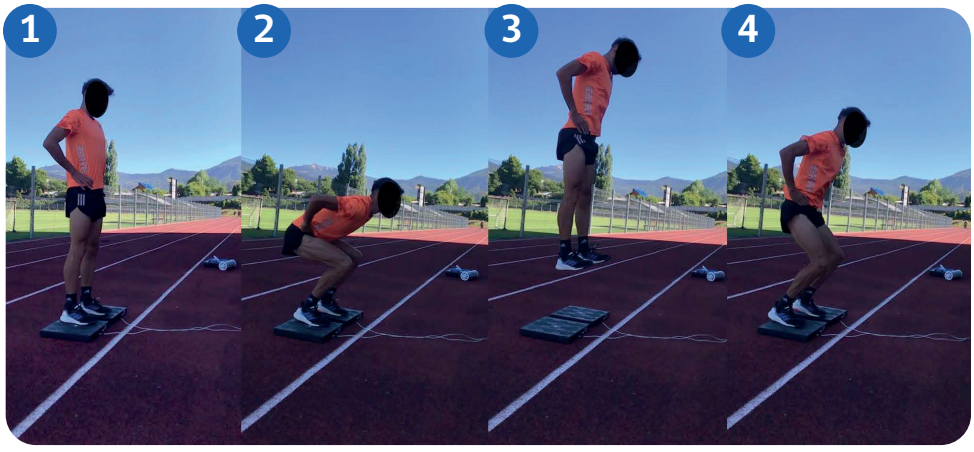
**Calentamiento:** el evaluado debe realizar 3 saltos de práctica CMJ, con pausas de 1 minuto entre intentos [14].

**Preparación:** salto vertical que inicia en posición erguida con ambas manos en las caderas.

**Ejecución:** desde la posición de preparación el atleta debe saltar lo más rápido y alto posible realizando un contramovimiento. La profundidad del contramovimiento es individual para cada atleta (**Figura 14**).

*Materiales*

Plataformas de fuerza.



# Valoración de la Velocidad

## Introducción a la velocidad (sprint): importancia en el deporte de rendimiento

Uno de los principales determinantes del rendimiento físico en deportes como el atletismo, rugby, fútbol, fútbol, vóleibol y baloncesto es la capacidad de producir una alta potencia mecánica de salida durante los saltos y aceleraciones de sprint. Esta producción de potencia depende de la capacidad de los sistemas neuromuscular y osteoarticular de los atletas para generar altos niveles de fuerza, aplicarla con eficacia en el entorno (es decir, superficie de apoyo, pelota, proyectil) y producir esta fuerza a alta velocidad de contracción. Por lo tanto, la fuerza y la velocidad se consideran las características fundamentales de la producción de potencia mecánica de salida en los movimientos deportivos[24,50,51].

La velocidad podría definirse como la tasa a la que un atleta puede cubrir una distancia específica[52]. En términos práctico, la velocidad incluye varias subcategorías, que representan un espectro de habilidades, que incluyen (**Figura 15**):

- velocidad inicial.
- aceleración.
- velocidad absoluta (o máxima).
- resistencia a la velocidad.

**Figura 15**. Subcategorías de la velocidad visualizadas durante un sprint.

Las subcategorías anteriores de la velocidad se enumeran en orden de expresión dentro de un deporte. Cada una tiene diferentes grados de importancia dependiendo de la tarea, pero se dará énfasis en la aceleración y la velocidad absoluta, que quizás sean las más relevantes para la mayoría de los eventos y deportes de pista o campo. Primero se deben comprender las demandas mecánicas del sprint en relación a la dirección dominante en la que el atleta aplica la fuerza (horizontal y vertical), así como la transición entre ellas. En términos simples, cuanto más lento se mueve un atleta en relación con su velocidad máxima, más horizontal es la orientación de su fuerza de reacción del piso específica a su masa. Esto se puede describir mediante la comprensión de la mecánica de la aceleración (velocidad creciente). Por otro lado, cuanto más rápido se mueve el atleta en relación con su velocidad máxima, más vertical es su aplicación de fuerza específica a su masa. Esto se puede describir entendiendo la mecánica de velocidad absoluta o lo que se ha definido como mecánica vertical. El rendimiento del sprint se ha interpretado durante mucho tiempo a través de un modelo espacial simple en el que la velocidad es el producto de la longitud del paso y la frecuencia del paso. Aunque tiene sentido buscar mejoras tanto en la longitud como en la frecuencia de los pasos a través del entrenamiento, se sugiere seguir las leyes del movimiento de Newton y apuntar a mejorar la cantidad de fuerza de reacción del suelo (GRF, de ground reaction forces) que los atletas pueden producir en todas las fases del

sprint en términos relativos, y también la eficacia mecánica con la que los ellos aplican la fuerza al suelo. La orientación del vector de GRF es clave para el rendimiento durante la aceleración, y la magnitud total de la GRF producido por unidad de masa corporal es importante a lo largo de la totalidad del sprint. Como se presenta en la **Figura 16**, este modelo funcional propone que los atletas deben producir grandes cantidades de fuerza y tratar de aplicarla sobre el suelo de manera efectiva (es decir, con un ángulo de orientación horizontal (aceleración). Estos elementos esenciales deben ocurrir dentro del contexto específico de la carrera de velocidad y, en el caso de los atletas de deportes de equipo, bajo restricciones específicas adicionales. La aplicación de una fuerza relativamente más horizontal se orienta a través de estímulos que permiten a los atletas a empujar hacia atrás o avanzar, mientras que la aplicación relativamente más vertical de la fuerza del sprint se guía a través de estímulos que permite a los atletas a empujar hacia abajo o hacia arriba.

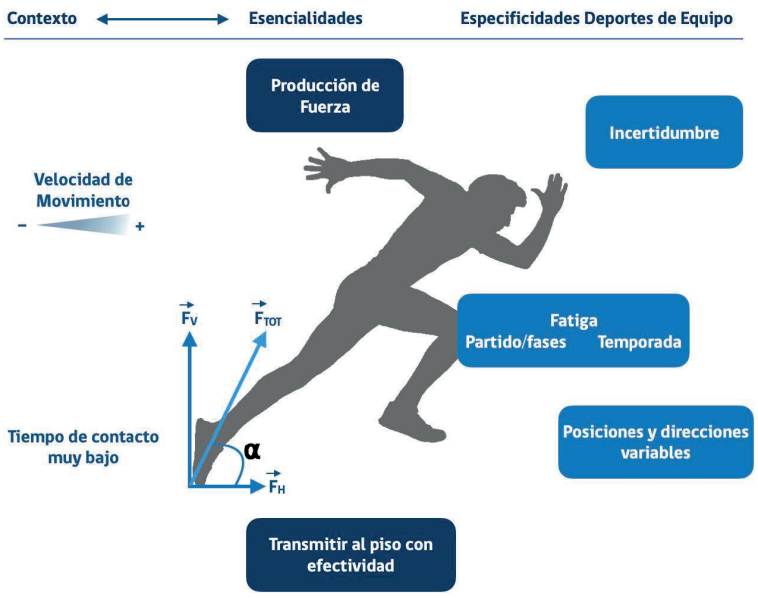



**Figura 16**. Modelo conceptual de la producción de fuerza durante el sprint (Adaptado de Morin y McMillan 2021)[52].

Una forma de expresar la eficacia de la orientación de la GRF es la relación de fuerzas (RF) en porcentajes. En igualdad de condiciones, cuanto mayor sea la relación, más orientado horizontalmente el vector GRF y mayor será la aceleración hacia adelante. En general, esta

capacidad de orientación GRF (en lugar de la capacidad máxima de producción de fuerza) distingue claramente a los atletas de élite de los de alto nivel y no especializados.

## Formas de valorar la Velocidad

Existen varios enfoques cuantitativos para analizar la técnica de sprint, siendo perfil de fuerza-velocidad-potencia de sprint uno de los más utilizados en la actualidad. Brevemente, este método se basa en las leyes del movimiento aplicadas al centro de masa del atleta y sólo requiere como entradas la masa corporal, la altura y tiempos parciales (de tres a cinco divisiones) durante la aceleración o la velocidad de carrera instantánea (e.g., obtenida con radar , dispositivos láser o de resistencia robótica). Existe una hoja de cálculo gratuita que permite realizar todos los cálculos a partir de estas entradas[53]. También está disponible una aplicación iOS de bajo costo y válida para teléfonos inteligentes y tabletas (llamada MySprint)[54] para medir con precisión los tiempos parciales de aceleración de 30 metros basados en grabaciones de video de frecuencia (120 a 240 cuadros por segundo) que está asociado con una hoja de cálculo gratuita para cálculos completos. Este método macroscópico ha sido validado con dispositivos estándar de oro, y permite un análisis en profundidad de los principales indicadores clave de rendimiento hacia una interpretación más individualizada y detallada de las fortalezas y debilidades de cada atleta. En este sentido, es importante recalcar que los tiempos de sprint solo informan sobre el rendimiento del sprint final, y no sobre los factores mecánicos subyacentes. En otras palabras, valorar y analizar los tiempos de sprint solo nos dice si un atleta es rápido o lento en una distancia de prueba determinada; no nos dice por qué. El rendimiento de la carrera de velocidad a menudo se evalúa mediante una prueba de velocidad máxima o un tiempo en una distancia determinada (e.g., 30 m), lo cual tiene sentido ya que el rendimiento en la mayoría de los deportes de velocidad se basa en cubrir una distancia determinada en el menor tiempo posible o la mayor distancia en un tiempo dado. No obstante, un error común es inferir que los atletas que difieren en el rendimiento de sprint también difieren en los factores mecánicos que sustentan ese

rendimiento, o viceversa, y que dos rendimientos similares (e.g., tiempos de sprint de 30 m) indican dos perfiles mecánicos similares y , a su vez, necesidades y contenidos de entrenamiento similares. Teóricamente podría ser el caso, pero la mayoría de las veces un tiempo de sprint dado puede resultar de varios perfiles de fuerza-velocidad-potencia. Un tiempo de sprint en una distancia determinada es, de hecho, información muy básica. Se deben considerar los cinco factores principales que componen el perfil fuerza-velocidad-potencia del sprint (revisar **Tabla 2** para descripción): (i) $F_0$, (ii) $V_0$, (iii) $P_{máx.}$, (iv) $RF_{máx.}$, y (v) DRF en grupos de atletas con un nivel de entrenamiento similar (velocistas, equipos de rugby o fútbol), lo que permite discriminar entre perfiles diferentes, estableciendo así diferentes necesidades de entrenamiento (individualización). Además, la comparación interindividual podría ayudar a la hora de interpretar las respuestas individuales a varios tipos de intervención de entrenamiento, su magnitud y su cinética. Este análisis no solo puede ser parte del proceso de entrenamiento, sino que también ayuda a monitorear el proceso de retorno al rendimiento después de una lesión y rehabilitación.

## Importancia de comprender la mecánica del sprint en un entorno de rehabilitación

Conocer el perfil previo a la lesión del atleta lesionado proporciona una información importante para (al menos) identificar el perfil previo a la lesión, lo que permite la comparación previa y posterior para cada componente del perfil[55-57]. Por ejemplo, se ha observado que la mayoría de los jugadores de fútbol muestran un valor de $V_0$ que vuelve a la normalidad después de la rehabilitación por una lesión en los isquiotibiales relacionada con el sprint, pero que mantienen un valor de $F_0$ de atleta disminuido. Un proceso de retorno al rendimiento sólido, eficaz e individualizado debe tener esto en cuenta al diseñar las etapas finales del programa de rehabilitación. No obstante, para que los datos sean un representante válido y confiable de la verdad, la prueba fuerza-velocidad-potencia debe ser lo suficientemente frecuente (e.g., una vez cada 2 meses) para garantizar datos y, por tanto, un objetivo sólido para el proceso de rehabilitación[52]. Se debe tener en cuenta que el

perfil fuerza-velocidad-potencia no es en sí mismo el objetivo del entrenamiento, mas bien es una herramienta para identificar de manera individual el estado de las capacidades físicas del atleta que sustentan y explican su rendimiento en el sprint.

## Entrenamiento del Perfil Fuerza-Velocidad

En términos de un programa de entrenamiento o estímulo específico se ha sugerido un enfoque basado en la velocidad (i.e., usando ejercicios y resistencias que llevan al atleta a realizar un esfuerzo máximo dentro de la parte específica del espectro de fuerza-velocidad que necesita ser estimulado y desarrollado). Por ejemplo, si se va a desarrollar la orientación de la fuerza horizontal y la producción de fuerza máxima al comienzo del sprint, se recomiendan altas resistencias en forma de trineos muy pesados o resistencia robótica, donde resistencias que inducen una velocidad máxima de carrera cercana a la $V_{opt}$ (50% de $V_0$) es probable que permitan una mayor exposición (por lo tanto, estímulo) a $P_{máx}$[58,59]. Actualmente, la investigación está tratando de identificar las formas de mejorar la $V_0$, especialmente si el entrenamiento de sobre-velocidad es eficiente o si la mejora se puede lograr a través de carreras a máxima velocidad o solo con resistencias muy ligeras. Se debe tener en cuenta que la carrera máxima o cuasi-máxima es una forma poderosa de inducir un tiempo de contacto corto y un contexto de alta fuerza y la pre-activación asociada durante la fase de swing, así como la rigidez general del tobillo y de las extremidades inferiores durante el contacto. Ningún ejercicio aislado o basado en el gimnasio puede inducir los tiempos de contacto extremadamente cortos (típicamente 90-120 ms) y el nivel de activación de los músculos isquiotibiales observados durante el sprint máximo. Más allá de estos estudios piloto, es evidente que se necesitan más investigaciones para determinar el tipo de estímulos que inducen efectivamente adaptaciones al entrenamiento para cada parte específica del espectro fuerza-velocidad y los mecanismos neuromusculares involucrados. Hay que tener en cuenta que ningún ejercicio, modalidad de entrenamiento o ejercicio es superior a otros en términos absolutos; todo depende del contexto individual y de los objetivos del entrenamiento.

*Protocolo de valoración*

Frecuencia de monitoreo: al final de cada meso o bloque de entrenamiento con énfasis primario.

**Calentamiento:** no hay protocolo de calentamiento estandarizado.

**Protocolo de valoración:** la velocidad del sprint es medida constantemente durante los 30 metros (o los metros que se determinen valorar) de aceleración utilizando un radar con una frecuencia de sampleo de 46.9 Hz (Stalker ATS II Versión 5.0.2.1, Applied Concepts, Dallas, TX, USA). El radar debe ser dispuesto en un trípode 10 metros por detrás de los atletas y a una altura de 1 metro, lo que corresponde aproximadamente a la altura del centro de masas de cada sujeto. Todos los datos deben ser recolectados utilizando el software STATS (Modelo: Stalker ATS II Versión 5.0.2.1, Applied Concepts, Dallas, TX, USA). Una hoja Excel[53] se utiliza para analizar la fuerza horizontal externa, la velocidad y la potencia a partir de los datos obtenidos.

**Ejecución:** desde la posición de inicio, el atleta debe realizar un sprint tratando de recorrer la distancia establecida en el menor tiempo posible.

*Materiales*

Radar (o en su defecto fotocélulas; app MySprint); software de recolección de datos; planilla Excel para cálculos del perfil fuerza-velocidad.

*Tablas de valoración*

Las **Tablas 2** y **3** entregan valores de referencia de las principales variables mecánicas que se calculan durante un sprint.

## **Tabla 2**. Tabla descriptiva de principales variables calculadas en el perfil fuerza-velocidad, y valores generales de referencia[24,50].

| Variable del Perfil | ¿Qué es exactamente? | ¿Qué es en la práctica? | ¿Cómo se calcula? | ¿Cuáles son valores comunes? Desde extremadamente bajo (deporte recreativo) a extremadamente altos (deporte de elite) |
|---|---|---|---|---|
| $F_0$ (N/kg) | Máxima producción teórica de fuerza horizontal que pueden producir los miembros inferiores a velocidad nula de sprint (fuerza en el extremo final del espectro F-V). | Capacidad de producción de fuerza horizontal a bajas velocidades (fuerza específica de sprint a bajas velocidades). | Intersección del eje de fuerza en la relación lineal de F-V. | De 4 a 12 N/kg; de 200 a 1.100 N |
| $V_0$ (m/s) | Máxima velocidad teórica de carrera asociada a la producción de fuerza horizontal (velocidad en el extremo final del espectro F-V). | Capacidad de producción de fuerza horizontal a altas velocidades (fuerza específica de sprint a altas velocidades). | Intersección del eje de velocidad en la relación lineal de F-V. | De 6 a 12 m/s |
| $P_{max}$ (W/kg) | Máxima potencia mecánica de salida que pueden producir los miembros inferiores durante un paso en el sprint (ápice de la relación P-V). | Capacidad de producir potencia de salida en la dirección horizontal (máxima potencia de sprint). | Pmax = $F_0 \times V_0/4$, o el ápice de la relación polinómica de segundo grado en la curva P–V. | De 7 a 30 W/kg; de 350 a 2.300 W |
| $S_{fv}$ (N*s/m/kg) | Perfil F-V del sprint. | Orientación de la capacidad de producción de fuerza horizontal hacia las capacidades de fuerza o velocidad (equilibrio entre la fuerza específica del sprint a bajas y altas velocidades). | Sfv = $-F_0/V_0$ o pendiente de la relación lineal F-V. | De -1.8 a -0.4 N*s/m/kg |
| RF (%) | Ratio de fuerza producida en un paso del sprint. | Proporción de la fuerza total producida por los miembros inferiores sobre el piso que es aplicada de manera horizontal (eficacia mecánica de la aplicación de fuerza). | Ratio del componente horizontal de la fuerza resultante producida sobre el suelo en un paso del sprint. | Diferente a cada paso; varia entre $RF_{max}$ a 0 |
| $RF_{max}$ (%) | Máximo valor de RF. | Máxima eficacia mecánica de la producción de fuerza horizontal (que se desarrolla en el primer paso) (eficacia mecánica a bajas velocidades de sprint). | Valor de RF en el primer paso (medición con plataformas de fuerza) o valor de RF modelado en el tiempo = 0.3 s (método simple de sprint). | De 24 a 60% |
| $D_{RF}$ (%*s/m) | Tasa de caída en RF a medida que aumenta la velocidad de sprint. | Capacidad para mantener una alta eficacia mecánica a pesar de aumentar la velocidad de sprint. | Pendiente de la relación lineal RF-V (para tiempos >0.3 se para el método simple de sprint). | De -12 a -4 %*s/m |

## **Tabla 3**. Valores promedio (± DS) de variables mecánicas durante sprint en atletas olímpicos de Noruega[51].

| Disciplina (sexo) | N | $F_0$ (N·kg$^{-1}$) | $V_0$ (m·s$^{-1}$) | $P_0$ (W·kg$^{-1}$) | $S_{FV}$ (slope·kg$^{-1}$) | $RF_{máx}$ (%) | DRF (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Atlet._Saltos (M) | 8 | 7.8 ± 0.4 | 8.8 ± 0.4 | 17.2 ± 1.4 | -0.89 ± 0.06 | 45.1 ± 1.5 | -8.3 ± 0.5 |
| Atlet._Saltos (H) | 9 | 8.4 ± 0.5 | 10.0 ± 0.4 | 20.9 ± 1.3 | -0.85 ± 0.06 | 48.5 ± 1.2 | -7.8 ± 0.5 |
| Atlet._Velocidad (M) | 5 | 8.5 ± 0.3 | 9.2 ± 0.2 | 19.7 ± 0.7 | -0.93 ± 0.03 | 47.6 ± 0.7 | -8.5 ± 0.3 |
| Atlet._Velocidad (H) | 8 | 9.0 ± 0.4 | 10.3 ± 0.5 | 23.2 ± 1.2 | -0.87 ± 0.07 | 50.5 ± 1.0 | -7.9 ± 0.7 |
| Atlet._Lanzamiento (M) | 10 | 7.7 ± 0.5 | 8.1 ± 0.4 | 15.6 ± 1.3 | -0.95 ± 0.08 | 43.4 ± 1.5 | -9.0 ± 0.8 |
| Atlet._Lanzamiento (H) | 14 | 8.3 ± 0.6 | 9.1 ± 0.4 | 18.8 ± 1.8 | -0.91 ± 0.07 | 46.6 ± 1.8 | -8.5 ± 0.7 |
| Basquetbol (H) | 10 | 8.3 ± 0.5 | 8.7 ± 0.4 | 18.0 ± 1.9 | -0.95 ± 0.04 | 45.9 ± 1.9 | -8.9 ± 0.4 |
| Playa-/vóleibol (H) | 23 | 8.6 ± 0.4 | 8.6 ± 0.4 | 18.4 ± 1.3 | -1.01 ± 0.06 | 46.4 ± 1.3 | -9.4 ± 0.6 |
| Deportes Combate (M) | 17 | 7.1 ± 0.4 | 7.4 ± 0.4 | 13.1 ± 1.2 | -0.97 ± 0.06 | 40.3 ± 1.5 | -9.2 ± 0.6 |
| Deportes Combate (H) | 32 | 8.1 ± 0.6 | 8.7 ± 0.4 | 17.6 ± 1.7 | -0.93 ± 0.08 | 45.4 ± 1.7 | -8.7 ± 0.8 |
| Esgrima (M) | 5 | 6.9 ± 0.3 | 7.2 ± 0.4 | 12.3 ± 0.9 | -0.96 ± 0.06 | 39.4 ± 1.2 | -9.1 ± 0.6 |
| Esgrima (H) | 10 | 7.8 ± 0.4 | 8.2 ± 0.3 | 16.0 ± 1.0 | -0.95 ± 0.06 | 43.9 ± 1.1 | -8.9 ± 0.5 |
| Balonmano (M) | 32 | 7.8 ± 0.5 | 8.2 ± 0.4 | 16.0 ± 1.6 | -0.94 ± 0.04 | 43.8 ± 1.8 | -8.9 ± 0.4 |
| Balonmano (H) | 18 | 8.4 ± 0.4 | 9.1 ± 0.4 | 19.0 ± 1.1 | -0.92 ± 0.06 | 46.9 ± 1.1 | -8.5 ± 0.6 |
| Fútbol (M) | 93 | 7.6 ± 0.5 | 8.1 ± 0.4 | 15.5 ± 1.3 | -0.94 ± 0.07 | 43.2 ± 1.5 | -8.9 ± 0.7 |
| Fútbol (H) | 57 | 8.5 ± 0.5 | 9.2 ± 0.4 | 19.5 ± 1.4 | -0.92 ± 0.07 | 47.4 ± 1.4 | -8.5 ± 0.7 |
| Patinaje Velocidad (M) | 12 | 7.5 ± 0.4 | 7.9 ± 0.3 | 14.9 ± 1.0 | -0.96 ± 0.06 | 42.5 ± 1.1 | -9.1 ± 0.6 |
| Patinaje Velocidad (H) | 22 | 7.8 ± 0.6 | 8.9 ± 0.5 | 17.2 ± 1.6 | -0.88 ± 0.08 | 44.9 ± 1.7 | -8.2 ± 0.8 |
| Tenis de Mesa (H) | 13 | 8.0 ± 0.4 | 8.4 ± 0.5 | 16.7 ± 1.5 | -0.95 ± 0.07 | 44.5 ± 1.6 | -8.9 ± 0.7 |
| Tenis (M) | 7 | 7.4 ± 0.4 | 7.5 ± 0.4 | 13.9 ± 1.2 | -0.98 ± 0.05 | 41.4 ± 1.5 | -9.3 ± 0.5 |
| Tenis (H) | 11 | 8.2 ± 0.4 | 8.7 ± 0.3 | 17.8 ± 1.1 | -0.94 ± 0.04 | 45.7 ± 1.2 | -8.8 ± 0.4 |
| Lev.-/powerlifting (H) | 13 | 8.0 ± 0.5 | 8.3 ± 0.5 | 16.7 ± 1.5 | -0.97 ± 0.08 | 44.5 ± 1.6 | -9.1 ± 0.7 |

M = mujer, H = hombre, $P_0$ = máxima potencia horizontal, $F_0$ = máxima fuerza horizontal, $V_0$ = velocidad máxima teórica, $S_{FV}$ = pendiente fuerza-velocidad, $RF_{max}$ = ratio máximo de fuerza, DRF = tasa de caída en $RF_{max}$.

## Valoración de la Flexibilidad

La mayor parte de la literatura define flexibilidad como la capacidad de alcanzar un amplio rango de movimiento, limitando su definición al rango articular o movilidad observada, sin considerar las resistencia internas involucradas. En función de ello, una definición que involucre ambos tópicos puede establecer una relación fisiológica entre las fuerzas de resistencia pasiva y la longitud que puede alcanzar la unidad músculo tendinosa al estirarse, permitiendo un mayor o menor movimiento. Considerando al músculo como factor determinante en el desarrollo de la flexibilidad, estos se forman por tres componentes: (i) mecánicos, (ii) elásticos (serie y paralelo) y, (iii) componente contráctil. Los componentes mecánicos son importantes debido a que resisten la tensión, y en su conjunto, estos tres componentes determinarán finalmente un mayor alcance de la calidad y de la cantidad de movimiento[60]. De esta forma, la primera aceptación a realizar, corresponde a la llamada extensibilidad pasiva de un músculo, que se define como la capacidad de un músculo esquelético de alargarse sin activación muscular[61]. Esta extensibilidad pasiva del músculo es una importante propiedad muscular ya que ella permite que el músculo alcance su máxima longitud tanto en músculos que se encuentran activos como también no-activos. Esta mayor longitud muscular permitirá alcanzar máximos rangos de movimientos necesarios tanto para las numerosas funciones de la vida diaria como para la realización de diferentes patrones de movimientos implicados en el deporte de alto rendimiento. Así, la valoración de flexibilidad representa el monitoreo de una propiedad muscular, como lo es la extensibilidad de la unidad músculo tendínea, la cual debe convivir con otras propiedades del músculo como son, la contractibilidad, la irritabilidad o excitabilidad, la cual es responsable en parte de la movilidad articular. De igual forma, las valoraciones de flexibilidad podrán constatar en forma indirecta, sin ser su objetivo principal, limitaciones del movimiento determinada por otros factores, como los son restricciones osteo-articulares, retracciones dérmicas, o variantes anatómicas.

Conocer el grado de flexibilidad de nuestros atletas representa una valiosa herramienta que permite monitorear el grado de movilidad articular y sus consiguientes acortamientos musculares, los que pudieran estar repercutiendo en el adecuado desarrollo de una técnica deportiva, como también en la mejor optimización de los ciclos de estiramiento-acortamiento, tan necesarios en la práctica deportiva. Una buena flexibilidad va ayudar a no sobrecargar ciertas estructuras que con el tiempo pueden condicionar lesiones por sobreuso. Así, hoy la flexibilidad es reconocida como una parte valiosa de la aptitud física del programa de un atleta, con el propósito de prevenir lesiones, mejorar el rendimiento deportivo y lograr una rehabilitación lo más rápida y segura posible.

## Importancia de la flexibilidad en el rendimiento deportivo y prevención de lesiones

*Rendimiento deportivo*

Uno de los efectos más buscados en el desarrollo y entrenamiento de la flexibilidad, y sobre el cual coinciden la mayor parte de los investigadores, es la mejora en la movilidad de las diferentes articulaciones comprometidas en un gesto deportivo. Los atletas requieren flexibilidad suficiente para alcanzar patrones óptimos de movimiento y posiciones estáticas necesarias para la participación deportiva. Otro de los efectos reconocidos con el entrenamiento de la flexibilidad tiene relación con los ciclos de estiramiento-acortamiento que forman parte de la gran cantidad de gestos deportivos. Los ciclos de estiramiento y acortamiento son parte de nuestras actividades diarias y de las distintas técnicas deportivas. Es sabido que un músculo puede realizar un mayor trabajo  si este es activamente estirado antes del acortamiento[62]. De esta forma, se ha asociado el desarrollo de una mayor fuerza a un estiramiento previo a la contracción muscular, donde los mecanismos que mejorarían producto de un desarrollo de la flexibilidad serían:

- Tiempo para desarrollar fuerza: tiempo que dispone al músculo para llegar a activarse completamente.
- Energía Elástica: depósito de energía en el sistema elástico.
- Potenciación: la fuerza desde un puente cruzado individual es mejorada como consecuencia del estiramiento del sarcómero.
- Refleja: evocada por el reflejo de estiramiento.

De esta manera, estos ciclos benefician el movimiento humano por un mejoramiento de su eficiencia, permitiendo con ello el desarrollo de una mayor tensión por el mismo costo energético, de lo que se concluye que un mejoramiento de la flexibilidad permite un efectivo depósito y uso de la energía elástica. Finalmente, otro de los beneficios atribuidos al entrenamiento de flexibilidad y rendimiento deportivo es referido a lograr una mayor eficiencia en un patrón de movimiento determinado. Si bien existe cierto grado de controversia al respecto, se ha observado un incremento de la eficiencia en la marcha ($VO_2$ máx.) de un 40%, 60% y 80% producto de un programa de flexibilidad de la cadera[63]. Esto estaría explicado por una mejor utilización de la energía elástica durante los ciclos de estiramiento-acortamiento y una menor resistencia de la musculatura antagonista. La eficiencia pareciera, además, mejorar con el incremento en la velocidad de la marcha; sin embargo, otros estudios no observaron beneficios al respecto a causa de un programa de flexibilidad. De esta manera el desarrollo de la flexibilidad a pesar de sus controversias y cuestionamiento en alguno de sus aspectos, representa una propiedad fundamental de los tejidos blandos y especialmente del músculo en la mayoría de los gestos deportivos.

*Prevención de lesiones*

El empleo de los ejercicios de estiramiento para aumentar la flexibilidad muchas veces se ha basado en la idea de reducir la incidencia de lesiones en el deporte. Es importante señalar, antes de abordar el efecto del entrenamiento de la flexibilidad sobre la prevención de lesiones, que una adecuada compliance (i.e., tolerancia para resistir una deformación elástica) de la unidad músculo tendínea es fundamental para realizar cualquier tarea deportiva, especialmente aquellas que involucran ciclos de estiramiento-acortamiento. Uno de los efectos más controversiales

del entrenamiento de la flexibilidad es si esta ayuda a la prevención de lesiones de tipo muscular. Sin duda, dicha controversia esta primero que nada determinada por las observaciones y conclusiones contradictorias que muestran diferentes estudios realizados al respecto. Es importante mencionar que estas contradicciones se pueden explicar por la variación metodológica existente en los estudios realizados sobre el efecto de la flexibilidad y las diversas técnicas de estiramiento en la prevención de lesiones. Aspectos como las características de la muestra o actividad deportiva que participan varían de un estudio a otro. Por ejemplo, deportes que involucran rebotes y actividades de salto con una alta intensidad de ciclos de estiramiento-acortamiento requieren una unidad músculo-tendinosa que sea suficientemente compatible con el almacenamiento y liberación de energía elástica que beneficia el rendimiento en tales deportes. De esta forma, si los sujetos que practican estos deportes tienen una deficiente extensibilidad de la unidad músculo-tendinosa compatible con las demandas de absorción y liberación de energía, estas pueden exceder rápidamente la capacidad de la unidad músculo-tendinosa, conduciendo a un mayor riesgo de lesión de la estructura. En consecuencia, la justificación en la prevención de lesiones en este tipo deportes, consiste en mejorar la compliance de la unidad músculo-tendinosa[64]. De la misma manera, algunos estudios han demostrado que los programas de estiramiento, en búsqueda de mejorar la flexibilidad, pueden influir en la viscosidad del tendón y hacerlo significativamente más extensible de manera que en aquellos deportes que demandan ciclos de estiramiento-acortamiento de alta intensidad, un mayor estiramiento puede ser importante en la prevención de lesiones. Por contrapartida, cuando el tipo de deporte practicado demanda ciclos de estiramiento de baja intensidad, probablemente no es necesaria una importante compliance de la unidad músculo-tendinosa, ya que la mayor parte de la energía generada es producto de un trabajo muscular activo que necesita ser transferido directamente por el tendón al sistema óseo. Por lo tanto, un mayor estiramiento no tendría un efecto beneficioso sobre la prevención de lesiones en estos deportes[64], donde la capacidad de un músculo para absorber energía depende tanto del componente contráctil, como

también del componente pasivo (tendón)[65]. En un sistema con una buena compliance, cuando los elementos contráctiles se encuentran activos a una alta intensidad, una mayor energía puede ser absorbida por el tendón, reduciendo una transmisión del trauma a la fibra muscular. Por contrapartida, cuando existe una pobre compliance, el tendón no es capaz de absorber demasiada energía, lo que se traduce en una transmisión de las fuerzas al músculo[64]. Esto es concordante con algunos estudios que han asociado un incremento del stiffness con una mayor incidencia de daño muscular post ejercicios de tipo excéntrico[66]. Por lo tanto, en movimientos que involucran ciclos de estiramiento-acortamiento de alta intensidad, en que una gran cantidad de energía necesita ser absorbida, una mayor capacidad de absorción por parte del tendón puede teóricamente guiar a un menor riesgo de lesión, tanto a nivel del tendón como a nivel de la estructura muscular. En la misma línea de investigación, una pobre flexibilidad también ha sido asociada a cuadros de tendinopatía crónicas, determinándose como factor de riesgo intrínseco para el desarrollo de tendinopatía patelar en la población atlética una disminución de la flexibilidad de la musculatura flexo-extensora de rodilla[67]. En un estudio realizado en 146 futbolistas profesionales, se concluyó que los jugadores que tuvieron una mayor tasa de lesiones de cuádriceps e isquiotibiales, presentaron una menor compliance de la unidad musculo-tendínea de estos grupos musculares en comparación a los jugadores que no presentaron lesiones musculares[68]. Otro aspecto a considerar en la presencia de una musculatura acortada o con escasa compliance es que esta puede constituir una limitación en los rangos de movimiento requeridos para ejecutar un gesto técnico, lo que asociado a la generación de fuerzas máximas, puede conducir al aumento de las tasas de carga y con ello a un aumento del shock en la extremidad inferior[69]. Lo anterior puede llevar a lesiones osteo-articulares por sobrecarga. Considerando el mismo aspecto, también se podría deducir que una disminución de la flexibilidad podría conducir a una deficiencia técnica y de coordinación, lo cual podría llevar a una eficiencia disminuida y un descenso del rendimiento, para terminar finalmente en una posible lesión[70], por lo que sería necesario un entrenamiento de la flexibilidad para prevenir lesiones musculares y del tejido conectivo.

Dejando en parte de lado el mejoramiento de la flexibilidad enmarcada en los diferentes ciclos de entrenamiento, también se ha estudiado su efecto en la prevención de lesiones producto de los diferentes tipos de estiramientos realizados durante la fase de calentamiento pre-competitivo, el cual es importante recordar que es de carácter momentáneo y no debe confundirse con los ejercicios de estiramientos que forman parte de un programa de flexibilización. El calentamiento + estiramiento mejora la respuesta plástica de la unidad neuro-tendinosa y las propiedades visco elásticas, preparando al músculo tanto como para una mejor absorción de las fuerzas de tensión como para la respuesta adecuada ante el requerimiento de un rango de movimiento extremo o que involucra un sobre estiramiento del músculo. Como contraparte de los diversos estudios que proclaman el mejoramiento de la flexibilidad como un factor conducente a un menor riesgo de lesión, también existen estudios que plantean efectos perjudiciales sobre los diferentes tejidos involucrados en un programa de flexibilización. Algunos plantean que el entrenamiento de flexibilidad puede transformarse en un continuo y otros lo plantean en términos de laxitud e hipermovilidad y como tal, pueden conducir a un mayor riesgo de lesión[71]. También se plantea que la hipermovilidad articular puede conducir a una decreciente actividad de reflejos protectores, aumentando así el riego de lesión aguda o crónica[72]. Por lo tanto, una excesiva flexibilidad podría resultar peligrosa y esta debería monitorearse y necesariamente ir acompañada de un minucioso programa de fortalecimiento muscular. Finalmente, se podría postular que existe un nivel óptimo de flexibilidad, y éste está condicionado por el tipo de deporte practicado y por las características estructurales de la unidad.

## Métodos de valoración en flexibilidad

Existe controversia en lo que respecta al grado de validez y confiabilidad de los distintos métodos de valoración de la flexibilidad, principalmente por el hecho de que todos valoran en forma indirecta el grado de modificación de las distintas estructuras implicadas en el movimiento, y específicamente el grado de modificación sufrido en un movimiento

extremo por la unidad músculo tendinosa. Otro elemento que surge como aspecto crítico en el carácter de la correcta interpretación de los datos, es la ausencia, en ocasiones, de la adecuada determinación del componente exacto que está restringiendo el movimiento. No obstante, existen varios métodos de valoración de la flexibilidad, los que, usados de manera adecuada, resultan útiles en el monitoreo de la flexibilidad. Todos los métodos de valoración utilizan como elemento de medida unidades métricas o angulares y existen consideraciones propias para algunos deportes, pero lamentablemente existen pocos datos normativos tanto para la población sedentaria como atlética. Así, la valoración de la flexibilidad reconoce métodos directos, que expresan la movilidad articular en grados, y métodos indirectos, que expresan la movilidad articular o de un segmento corporal en un sistema métrico.

*Métodos indirectos*

Como se señaló anteriormente las mediciones o métodos indirectos habitualmente funcionan a través de la medición de un desplazamiento del tipo lineal de un segmento o posición corporal. Las pruebas más conocidas son aquellas que se basan en una flexión de tronco, intentando tocar la punta de los pies, ya sea en posición bípeda o sedente. Estas pruebas de ejecución simple generan dificultad en la interpretación de los resultados y en la comparación inter-sujetos. Al respecto, es relevante asociar adecuadamente los resultados obtenidos en la pruebas con la articulaciones involucradas y, por ende, los potenciales músculos o zonas comprometidas. Un ejemplo clásico es la prueba sentar-alcanzar (Sit and Reach), en la cual un sujeto sentado en el suelo, se inclina hacia adelante, manteniendo las piernas estiradas. Se mide la distancia desde la punta de los dedos hasta una marca colocada sobre una barra unida a un cajón o sobre una marca ubicada en el suelo. Estudios sobre esta prueba han mostrado correlaciones contradictorias con el tronco y una mayor correlación con la musculatura posterior del muslo y pierna. En un estudio se mostró que la prueba de sentar-alcanzar tiene una correlación muy grande con los isquiotibiales (r= 0.89), mientras que con la zona lumbar tiene una correlación grande

(r= 0.59)[73,74]. Sin embargo, en otro estudio la misma prueba mostró una correlación de grande a muy grande con los isquiotibiales (r= 0.70), mientras la zona lumbar solamente mostró una correlación pequeña (r= 0.12)[75]. Otra de las pruebas a señalar es la prueba de Cureton, la cual determina la flexibilidad mínima a través de la flexión de tronco de pie sin doblar las rodillas, intentando tocar el suelo con la punta de los dedos. Se pide que los hombres toquen el suelo con la punta de los dedos y las mujeres con toda la palma de la mano. Es importante mencionar que estas pruebas indirectas solo realizan estimaciones generales de flexibilidad, pero deben ser complementadas con mediciones específicas y directas, en especial cuando se aplican a atletas de elite.

*Métodos directos*

Los métodos directos cuantifican la movilidad articular en unidades propias del desplazamiento angular (grados, radianes, entre otros), estableciendo ángulos relativos o absolutos. El instrumento más comúnmente utilizado es el goniómetro, pudiendo también usarse instrumentación o técnicas distintas como la fotometría o videogramas. La utilización de la goniometría, a pesar de su popularidad, conlleva algunas dificultades en lo referente a confiablidad y objetividad en los resultados obtenidos. Lo primero es su dependencia con la experticia del evaluador, lo que muchas veces no solo condiciona la primera valoración, sino que también conduce a que las próximas valoraciones sean idealmente realizadas por la misma persona. La mayor o menor experticia determina la correcta ubicación del goniómetro, así como el eje del instrumento, el cual debe acomodarse a un eje articular inconstante y variable a través de la trayectoria del movimiento. La ubicación del goniómetro ofrece no solo la dificultad de la ubicación del eje del instrumento, especialmente en aquellos movimientos que implican más de una articulación, sino también el posicionamiento de los brazos del goniómetro, especialmente el móvil[76]. Una manera de solventar estas dificultades es el uso de protocolos ya estandarizados y la descripción detallada de la medición. Los otros instrumentos como la fotografía o el video fotograma tienen la ventaja de ofrecer un registro permanente, sin embargo, en términos de tiempo y costo resultan menos convenientes. El electro-goniómetro, puede también ser

considerado un instrumento útil, aunque este mayormente se aplica para otro tipo de estudios ya que puede evaluar los rangos de movimientos en forma dinámica, sin embargo, aún resulta poco utilizado por la incomodidad para el atleta y el tiempo que puede conllevar su utilización. Finalmente, la medición de desplazamiento angular mediante acelerómetros, hoy en día resulta una herramienta objetiva y menos dependiente de la experticia del evaluador.
Así, en el Área de Biomecánica Deportiva se efectúan valoraciones de flexibilidad considerando ambos métodos y orientando las pruebas y músculos monitoreados a las necesidades impuestas por el deporte practicado. El método o procedimiento impuesto debe incluir principalmente una medición del desplazamiento angular (medición directa) y complementarla con medición de desplazamientos lineales (indirecta) a través de pruebas especiales y que habitualmente contemplan varias articulaciones.

## Objetivo de la valoración de flexibilidad en el deporte

La valoración de la flexibilidad entrega información valiosa sobre posibles restricciones de la movilidad articular en atletas y la presencia de acortamientos musculares asociadas a dichas restricciones. A continuaciones se señalan los principales objetivos de la valoración de flexibilidad:

- Valorar y monitorear de que el atleta pueda realizar las habilidades que requiere su deporte ejerciendo una presión mínima sobre los tejidos (músculos y tendones).
- Monitorear los aumentos y descensos de la flexibilidad como resultado del entrenamiento y la actividad.
- Identificar las áreas de problema que pueden estar asociadas con el rendimiento poco satisfactorio de un gesto determinado o con el riesgo de lesión.

## Frecuencia

En el caso de los atletas, la valoración de flexibilidad debiera realizarse al comienzo del periodo básico de entrenamiento y luego con una periodicidad que permitan monitorear los efectos del entrenamiento. A lo menos debiera contar con un monitoreo al término del periodo básico. Luego, pudiese realizarse una valoración cada 4 meses para ir monitoreando los avances o descensos de la flexibilidad. También se recomienda realizar valoraciones de flexibilidad después de una lesión, especialmente si no es de tipo traumática (lesiones por sobre-uso) o después de un proceso de rehabilitación.

## Recomendaciones

Varios métodos para medir flexibilidad están descritos en la literatura, sin embargo, independiente de los métodos utilizados la estandarización de la prueba resulta fundamental para la validez de los resultados y esta estandarización muchas veces no considera factores como:

- La definición de las unidades de medición.
- La definición de medidas relativas o absolutas.
- La definición de una medición de tipo pasiva, activa o forzada.

## Protocolo

Existen recomendaciones generales que abarcan los siguientes aspectos a considerar en cualquier batería de pruebas a realizar:

- El atleta debe asistir con ropa cómoda, idealmente con pantalón corto y polera holgada o en su lugar vestimenta que deje sus hombros al descubierto.
- El procedimiento de valoración debe quedar idealmente detallado. Este debiera comprender como paso inicial el revisar los instrumentos de valoración y su estado.

- Posteriormente, se debe proceder a explicar la prueba al sujeto a monitorear.
- Se debe registrar información relevante del atleta: nombre, edad, peso, estatura, deporte que realiza, y si es deporte de equipo, posición en que juega.
- Registrar fecha y hora de valoración.

Como **valoración primaria**, se han definido las siguientes pruebas:

*Tren Inferior:*

- Prueba de Thomas Modificada.
- Prueba de AKE.
- Prueba de Aductores.
- Prueba Sentar-Alcanzar.

*Tronco:*

- Prueba de Rotación de Tronco.

*Tren Superior:*

- Prueba de Elevación de Brazos.
- Prueba de Tomada Posterior.

## Prueba de Thomas Modificada

Prueba diseñada para valorar movilidad de cadera, específicamente musculatura flexora (psoas-recto anterior de cuádriceps) y abductores (tensor fascia lata). La tensión de los músculos flexores de la cadera limita la hiperextensión de la cadera en la marcha y la carrera y, además, puede asociarse con la curvatura lumbar, dolor de espalda y disfunción a nivel de la rodilla. La extensión de la cadera se considera un factor

importante en el desempeño de varios deportes. Al respecto, se ha teorizado que la falta de extensión de la cadera conduce a un paso forzado y a un aumento de las fuerzas de impacto durante la carrera[77]. Una prueba diseñada para la valoración del grado de tensión y acortamiento de la musculatura flexora de cadera es la prueba de Thomas modificada, la cuál es utilizada para valorar la flexibilidad de cuatro músculos de cadera: iliaco, psoas mayor, recto femoral y tensor de la fascia lata. La prueba de Thomas modificada ha mostrado una fiabilidad de moderada a alta en la valoración de flexibilidad del recto anterior de cuádriceps, mostrado resultados positivos de confiabilidad[78]. Con relación a lo mismo, en un estudio con 117 atletas de élite en tenis, baloncesto, remo y carrera se mostró que la prueba de Thomas modificada proporciona datos objetivos sobre la flexibilidad del psoas ilíaco, cuádriceps y tensor de la fascia lata /banda iliotibial, siendo una prueba recomendable para monitorear flexibilidad de la musculatura flexora de cadera en un deporte específico, así como también para detectar asimetrías entre ambas extremidades[79]. Un aspecto interesante a considerar guarda relación con uso del goniómetro como herramienta confiable para las mediciones angulares de la cadera en la prueba de Thomas modificado, donde se han encontrado concordancia dentro de las medidas tanto para la goniometría como para la fotografía digital[80]. De igual forma, la prueba de Thomas modificada muestra una alta asociación con la flexibilidad de cadera hacia la extensión de cadera mediante el uso de un inclinómetro y un goniómetro, determinando una alta confiabilidad para cada instrumento, sugiriendo que tanto el inclinómetro como el goniómetro son instrumentos confiables para medir la flexibilidad de extensión de cadera[81].

*Protocolo de valoración*

**Requisitos óptimos previos:** un aspecto a tener en cuenta durante la realización de la prueba es una adecuada estabilización lumbo-pélvica, ya que el movimiento de la extremidad inferior durante la prueba puede condicionar un desplazamiento anterior a nivel lumbar, generando un

tilt anterior de pelvis[82]. Se ha mostrado que acompañar la realización de la prueba con una estabilización lumbo-pélvica, resulta ser efectiva para aumentar la confiabilidad y minimizar los errores de medición en la prueba de Thomas. Concordante con esta aseveración, también se ha encontrado que cuando se controla la inclinación pélvica, la prueba de Thomas modificada resulta ser una prueba válida para valorar el ángulo máximo de extensión de la cadera[78].

**Calentamiento:** general.

**Preparación:** el atleta se sienta sobre el extremo de una camilla, luego se inclina hacia atrás, sosteniendo ambas rodillas sobre el pecho, esto asegura en parte la estabilización lumbo-pélvica. Luego el sujeto sostiene la cadera contralateral en flexión máxima con los brazos, mientras que la extremidad a evaluar "cuelga" hacia el suelo en el borde de la camilla. Se miden tres ángulos mediante goniometría: el ángulo de flexión de cadera; el ángulo de flexión de rodilla; la abducción de cadera. El primero determina el compromiso de psoas, el segundo el recto anterior de cuádriceps y el tercero el de la fascia lata[79].

**Ejecución:** realizar calentamiento de 10 minutos en ciclo-ergómetro o trote suave, ingresar fecha y hora de valoración, ingresar datos del atleta (deporte, edad, peso, talla), explicar procedimiento, realización de la prueba.

*Materiales*

Camilla; goniómetro.

*Valores normativos*

**Tabla 4**. Valores normativos de diferentes músculos en prueba de Thomas Modificado[79].

| | Angulo Articular (°) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deporte | Psoas (°) | | Cuádriceps (°) | | Tensor Fascia Lata (°) | |
| | Media | SD | Media | SD | Media | SD |
| Remo | -10.73 | 5.97 | 56.03 | 8.37 | 15.43 | 3.48 |
| Básquetbol | -11.82 | 4.89 | 53.47 | 6.58 | 15.67 | 4.55 |
| Atletismo Resistencia | -14.15 | 4.67 | 50.59 | 7.89 | 15.86 | 3.47 |
| Tenis | -10.93 | 6.01 | 49.94 | 5.58 | 15.33 | 3.50 |
| Promedio Total | -11.91 | 5.57 | 52.51 | 7.56 | 15.57 | 3.96 |

## Prueba de AKE (Active Knee Extension)

Prueba diseñada para valorar movilidad de cadera, específicamente los isquiotibiales y es una de las pruebas goniométricas más utilizadas para valorar la flexibilidad de isquiotibiales (también denominada como prueba de ángulo poplíteo). La valoración de la flexibilidad de la musculatura Isquiotibial es una práctica habitual en el ámbito de la salud físico-deportiva ya que su acortamiento ha sido relacionado tanto al rendimiento deportivo, así como a la propensión de sufrir lesiones en este grupo muscular.

Una de las lesiones más frecuentes en el deporte es la de los isquiotibiales. La prevalencia de dicha lesión se encuentra entre el 8% a 25% dependiendo del deporte estudiado. En la medición de la extensibilidad de los Isquiotibiales, las pruebas en decúbito supino son las más empleadas, en donde la medición goniométrica se utiliza en esta modalidad de prueba presentando una alta fiabilidad y validez[83]. Gajdosik (1983) determinó una fiabilidad inter-observador e intra-observado de 0.99[84], mientras Worren y Perrin (1992) determinaron una fiabilidad Intra-observador de 0.93 y de inter-observador de 0.94[85]. Finalmente, Rakos et al. (2001) fijaron una fiabilidad inter-observador de 0.79[86] y Kane junto Bernosconi (1992) de 0.99[87]. Por su parte estos mismos autores determinaron una validez de correlación de la prueba de 0.98-0.99[83].

*Protocolo de valoración*

**Requisitos óptimos previos:** la medición se realiza en grados, determinando el ángulo relativo entre la tibia y el fémur, o más habitualmente su suplementario considerando cero la extensión completa[84].

**Contraindicaciones y precauciones:** no están descritas.

**Calentamiento:** trote, bicicleta y/o remoergómetro en intensidades de suave a moderado durante 15 minutos.

**Preparación:** el atleta se ubica en decúbito supino, con la cadera flexionada en 90° y el tobillo en posición neutra. A partir de esta posición se solicita una extensión activa de rodilla, lenta y progresiva hasta que logre la máxima extensión de rodilla, o se produzca una retroversión pélvica o un aplanamiento de la lordosis lumbar. La cadera debe mantenerse en flexión de 90º, durante toda la prueba y la pierna contra lateral en extensión[88]. En caso de que el sujeto logre sin inconvenientes la posición 0° de extensión de rodilla, se solicitará posicionar la cadera en 120°, y se solicitará la extensión máxima de rodilla.

**Ejecución:** realizar calentamiento de 15 minutos, ingresar fecha y hora de evaluación, ingresar datos del atletas (deporte, edad, peso, talla), explicar procedimiento, realización de la prueba.

*Materiales*

Camilla; goniómetro.

*Valores normativos*

**Tabla 5**. Valores normativos para la prueba de AKE.

| | Angulo Articular (°) |
|---|---|
| Clasificación | Rango |
| Excelente | < 0° |
| Buena | 0° a 15° |
| Regular | 16° a 34° |
| Mala | > 35° |

## Prueba de Aductores

Prueba diseñada para valorar movilidad de cadera, específicamente aductores (largos y cortos). Un nivel inadecuado de flexibilidad de los músculos aductores es uno de los factores de riesgo más críticos para el dolor y las distensiones inguinales crónicas. En el ámbito del deporte y en especial de la medicina deportiva, es de importancia monitorear constantemente la flexibilidad de la musculatura aductora de cadera: aductor corto, aductor largo, aductor mayor, pectíneo y obturador externo, ya que se ha postulado que niveles insuficientes de flexibilidad constituye uno de los factores de riesgo más importantes para el dolor crónico de la zona inguinal, especialmente en lo referente a los sitios de inserción de los Aductores, particularmente en atletas[89]. Específicamente, se ha sugerido que tener una flexibilidad insuficiente de los músculos aductores de la cadera (principalmente los biarticulares), generará una mayor tensión a nivel de la zona púbica durante todas aquellas acciones deportivas que son realizadas de manera enérgica con soporte de peso, aumentando la probabilidad de sufrir una lesión crónica en la zona inguinal. Se ha mostrado que una disminución del movimiento de la cadera puede constituir una factor condicionante para la aparición de tensión de la musculatura aductora en jugadores de fútbol profesionales masculinos[90]. De igual forma se ha sugerido que aquellos atletas que participan en tareas que implican saltos repetitivos de alta intensidad, rebotar, correr, girar y/o saltos

repentinos y que tienen flexibilidad insuficiente en los músculos aductores de la cadera (músculos biarticulares y mono articulares, están más propensos a sufrir una distención muscular ya que las demandas de absorción de energía pueden rápidamente exceder las capacidades de la musculatura aductora[64,91]. Considerando que la musculatura aductora de cadera presenta componentes biarticulares y mono articulares, la manera más habitual de valorarla es mediante una abducción de cadera (pasiva o activa), con rodilla en extensión o con rodilla en flexión de 90°, para realizar la diferenciación de ambos componentes musculares. Se ha mostrado que las medidas de flexibilidad del músculo aductor biarticular y mono articular analizadas tienen excelentes puntuaciones de confiabilidad entre sesiones en atletas recreacionales, lo que indicaría poder monitorear un cambio real en la flexibilidad muscular[92,93].

*Materiales*

Goniómetro Aductores Technogym®; colchoneta o Mat; cinta métrica.

## Prueba de Aductores con Rodilla en Flexión de 90°

La combinación a nivel de cadera de flexión-abducción- rotación externa reflejan de buena forma la flexibilidad del músculo aductor y de la movilidad de cadera.

*Protocolo de valoración*

**Requisitos óptimos previos:** no requiere.

**Contraindicaciones y precauciones:** no están descritas.

**Calentamiento:** trote, bicicleta y/o remoergómetro en intensidades de suave a moderado durante 15 minutos.

**Preparación:** el atleta se ubica en posición sedente con las rodillas en flexión de 90º y la planta de los pies una frente a otra. Se les solicita que sus rodillas caigan hacia afuera, y el mismo sujeto con sus antebrazos (las manos toman los tobillos), presiona las rodillas hacia abajo, intentando que toquen el suelo. La espalda debe permanecer recta y los pies no deben separase. La distancia entre la cabeza del peroné y el piso es medida mediante una cinta métrica.

**Ejecución:** realizar calentamiento, ingresar fecha y hora de evaluación, ingresar datos del atleta (deporte, edad, peso, talla), explicar procedimiento, realización de la prueba.

## Prueba de aductores con rodilla extendida

*Protocolo de valoración*

**Requisitos óptimos previos:** no requiere o no están descritos.

**Contraindicaciones y precauciones:** no están descritas.

**Calentamiento:** trote, bicicleta y/o remoergómetro en intensidades de suave a moderado durante 10 minutos.

**Preparación:** el atleta se ubica en posición sedente con las espalda recta (puede apoyarse en un muro), sobre el plato del goniómetro para aductores (Technogym®), con las rodillas extendidas ubicadas sobre los brazos del goniómetro, se realiza abducción de cadera de manera pasiva por el examinador, hasta que el sujeto refiera una pequeña molestia en la zona aductora o el movimiento de uno de los brazos implique el retroceso hacia la aducción del brazo del goniómetro contra lateral.

**Ejecución:** realizar calentamiento, ingresar fecha y hora de evaluación, ingresar datos del atleta (deporte, edad, peso, talla), explicar procedimiento, realización de la prueba.

*Valores normativos*

En la actualidad no existen valores referenciales de esta prueba para todos los deportes o género, lo que presenta un desafío para los investigadores en ciencias del deporte, sin embargo, es posible encontrar algunos valores para orientar a los investigadores y entrenadores:

**Tabla 6**. Tabla de referencia con valores de flexibilidad para músculos aductores.

| Prueba de Aductores Cortos (cm) | | | |
|---|---|---|---|
| Derecho | 12.9 ± 5.1 | Dominante | 15.0 ± 3.8 |
| Izquierdo | 12.5 ± 4.7 | No-Dominante | 15.2 ± 4.2 |

| Prueba de Aductores Largos | | |
|---|---|---|
| Deporte | Valores | |
| Taekwondo (Hombres) | 46° | |
| Futsal (Mujeres) | Dominante | No-Dominante |
| | 44.4º ± 3.4º | 46.1º ± 4.5º |

## Prueba de Sentar–Alcanzar (Sit and Reach)

Prueba diseñada para valorar movilidad de cadera y zona baja de la espalda, especialmente musculatura de cadena posterior de extremidades inferiores (Isquiotibiales, Tríceps Sural). Wells y Dillon la describieron inicialmente en 1952 y probablemente sea la prueba de flexibilidad más utilizada[94]. Tiene un procedimiento simple, es fácil de administrar, requiere una formación mínima en habilidades para su aplicación y el equipo necesario para realizar la prueba es asequible. La falta de extensibilidad de los músculos Isquiotibiales condiciona una disminución de la movilidad pélvica, la que conduce a cambios

biomecánicos en la distribución de la presión a nivel de la columna. De igual forma, una pobre extensibilidad de Isquiotibiales se asocia a cuadros de espondilosis a nivel lumbar y cambios en el ritmo lumbo-pélvico[95]. Adicionalmente, individuos con músculos Isquiotibiales acortados presentan limitaciones de la marcha y por ende de la carrera, incrementando el riesgo de caídas y lesiones musculo-tendinosas[96]. La prueba sentar-alcanzar es una de las pruebas de flexibilidad lineal, que busca valorar la extensibilidad de los Isquiotibiales y la zona baja de la espalda (región lumbar). Al respecto, Langford (1987) encontró una correlación muy grande (r=0.89) para el caso de los isquiotibiales, y una correlación grande con la flexibilidad de la zona lumbar (r=0.59)[74]. En el mismo tono, Heyward encontró una correlación grande con la flexibilidad de Isquiotibiales (r=0.70) y una correlación pequeña con la musculatura de la parte baja de la espalda (r=0.12)[75]. Por su parte en un metanálisis sobre la valides del test de sentar-alcanzar para evaluar extensibilidad de Isquiotibiales y región lumbar, se encontró una validez moderada - grande en relación al grado de extensibilidad de la musculatura flexora de rodilla (r = 0.46-0.67), mientras tenía una validez de pequeña-moderada para la estimación de la extensibilidad lumbar (r = 0.16-0.35)[95]. También se debe considerar que las pruebas de valoración del sentar-alcanzar han demostrado poseer de forma generalizada una elevada fiabilidad relativa intra-examinador (ICC= 0.89-0.99) independientemente del sexo y del protocolo utilizado[88]. Los principales factores que parecen afectar la validez del sentar-alcanzar para estimar la extensibilidad de los Isquiotibiales son las diferencias antropométricas entre las extremidades superiores e inferiores[97], las curvaturas torácica y lumbar, la posición de la cabeza98 y la posición de los tobillos[99].

*Protocolo de valoración*

**Requisitos óptimos previos:** no requiere o no están descritos.

**Contraindicaciones y precauciones:** no presentar dolor lumbar o sintomatología de hernia discal.

**Calentamiento:** trote, bicicleta y/o remoergómetro en intensidades de suave a moderado durante 10 minutos.

**Preparación:** para la realización de la prueba, el atleta debe ubicarse en la posición sedente, con las extremidades inferiores extendidas, descalzos y con la planta de los pies apoyados en un cajón de manera que los tobillos permanecen en 90 ° (0 ° si se considera la posición fundamental). La prueba consiste en deslizar las manos sobre una superficie demarcada en cm lo más lejos posible a expensas de una flexión de tronco, sin flexionar rodillas y manteniendo la planta de los pies pegadas al cajón[100].

**Ejecución:** realizar calentamiento, ingresar fecha y hora de valoración, ingresar datos del atleta (deporte, edad, peso, talla), explicar procedimiento, realización de la prueba.

*Materiales*

Cajón con regla graduada en centímetros.

*Valores normativos*

**Tabla 7**. Valores de referencia para la prueba sentar-alcanzar[101].

| Deporte | Mujeres | | Hombres | | Total | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Media | SD | Media | SD | Media | SD |
| Deportes Acuáticos | 47.7 | 7.7 | 45.1 | 9.7 | 46.2 | 9.0 |
| Deportes Rendimiento Artístico | 53.5 | 6.2 | 48.2 | 8.9 | 51.7 | 7.6 |
| Atletismo | 45.7 | 7.3 | 43.5 | 8.1 | 44.3 | 7.8 |
| Deportes de Precisión | 55.0 | 3.7 | 42.1 | 8.8 | 43.4 | 9.2 |
| Deportes de Equipo | 46.3 | 6.7 | 40.9 | 7.7 | 44.0 | 7.6 |
| Deportes de Combate | 48.3 | 10.0 | 39.9 | 8.2 | 40.6 | 8.5 |
| Deportes Extremos | 53.5 | 6.6 | 48.0 | 8.1 | 49.6 | 8.0 |

# Prueba de Rotación de Tronco con Rodilla Flexionada (Half-kneeling Rotation Test)

Prueba diseñada para valorar movilidad de tronco, específicamente musculatura lateral. La movilidad del tronco resulta necesaria tanto en procesos de rehabilitación deportiva como en condiciones de normalidad en el campo deportivo. La adecuada flexibilidad del tronco mejora del rendimiento en atletas cuyos deportes tienen un gran requerimiento de movilidad. Diferentes pruebas han sido elaboradas y propuestas para valorar la movilidad espinal en los tres planos de movimiento (flexo-extensión; inclinación lateral; rotaciones), resultando relevante su monitoreo en los programas de prevención de lesiones, así como en la detección de mejora en el rendimiento. En lo que respecta al movimiento rotacional, una variedad de métodos de valoración ha sido propuesta. Un estudio evaluó la confiabilidad de 5 pruebas diferentes para valorar movilidad de rotación de tronco: (i) rotación en posición sedente con una barra frontal, (ii) rotación en posición sedente con una barra detrás de la espalda, (iii) rotación en posición de caballero con una barra frontal, (iv) rotación en posición de caballero con una barra detrás de la espalda, y (v) test de rotación lumbar bloqueada. El estudio demostró que los cinco métodos de valoración resultaron confiables, en donde todos los valores de ICC intra-test e inter-test fueron superiores a 0.85, lo que puede describirse como bueno. Además, todas las técnicas mostraron un bajo error de medición (TE menor a 3° y valores de CMD menores a 6°, ver **Características Estadísticas Importantes** en **Capítulo 1**)[102].

*Protocolo de valoración*

**Requisitos óptimos previos:** la posición con una rodilla apoyada y la otra extremidad con flexión de cadera, facilita la participación de los músculos alrededor de la cadera y la pelvis (es decir, isquiotibiales, flexores de la cadera y aductores, glúteos y músculos abdominales) para estabilizar la pelvis y permitiendo con ello la valoración funcional de la flexibilidad rotacional del tronco.

**Contraindicaciones y precauciones:** no presentar presencia de dolor lumbar o sintomatología de hernia discal.

**Calentamiento:** trote, bicicleta y/o remoergómetro en intensidades de suave a moderado durante 10 minutos.

**Preparación:** esta prueba utiliza una posición de estocada, con un pie en el suelo y con la rodilla y pie contra lateral en contacto con el suelo. Se estima que esta posición limita parcialmente la contribución de la columna lumbar, caderas y hombros. Además, hay que considerar que esta posición requiere un componente de estabilidad a nivel del CORE y extremidad inferior. A partir de una posición neutra (referencia posición fundamental), con una barra detrás de la espalda sujetada entre ambos brazos y manteniendo la espalda recta, se pide al sujeto que gire su tronco en dirección de la pierna que se encuentra por delante (pierna izquierda adelante, rotación izquierda; pierna derecha adelante, rotación hacia la derecha). Con un acelerómetro ubicado en la barra se registran los grados de rotación tanto a derecha como a izquierda[103].

**Ejecución:** realizar calentamiento, ingresar fecha y hora de evaluación, ingresar datos del atleta (deporte, edad, peso, talla), explicar procedimiento, realización de la prueba.

*Materiales*

Colchoneta o Mat, barra (PVC), acelerómetro.

*Valores normativos*

**Tabla 8**. Valores de referencia para la prueba de rotación de tronco[104].

| Deporte | Rotación c/barra en espalda | | Rotación c/barra Frontal | |
|---|---|---|---|---|
| | Forward | Backward | Forward | Backward |
| Softball | 46.6 ± 5.5 | 48.3 ± 6.9 | 46.4 ± 5.7 | 48.6 ± 5.5 |

# Prueba de Elevación de Brazos

Prueba diseñada para valorar movilidad de hombro y zona escapular, especialmente musculatura aductora (pectorales), y extensora (deltoides, latissimus dorsi). La movilidad glenohumeral y escapular forman parte de la mayoría de los gestos deportivos de tren superior como la natación y/o deportes de lanzamiento (e.g., balonmano). La prueba de elevación de brazos es una técnica de detección musculo-esquelética que implica un movimiento sincronizado de extensión torácica, flexión de la articulación glenohumeral, retracción de la escápula y rotación ascendente. Se ha mostrado que el movimiento de elevación de brazos tiene una correlación de muy grande a extremadamente grande con el movimiento de la articulación glenohumeral (r = 0.86–0.97) y una correlación muy grande con la retracción escapular (r = 0.75–0.82), tanto en hombres como en mujeres. Esto indica que la prueba de elevación de brazos es útil como herramienta de detección de la movilidad de las extremidades superiores[105]. Además, posee una buena confiabilidad intra e inter-evaluador[106,107].

*Protocolo de valoración*

**Requisitos óptimos previos:** no requiere o no están descritos.
Contraindicaciones y precauciones: No presentar presencia de dolor lumbar o sintomatología de hernia discal.

**Calentamiento:** trote, bicicleta y/o remoergómetro en intensidades de suave a moderado durante 10 minutos.

**Preparación:** el atleta se ubica en posición prona (boca abajo) en el piso. La frente, el pecho, las caderas, las rodillas y los pies están en el suelo. El sujeto debe asumir una postura con la mano izquierda encima de la mano derecha, codos, muñecas y palmas rectas y completamente extendidas. Los atletas deben mantener una posición neutral de la muñeca, determinada por la posición de los metacarpianos en relación

con el cúbito. Las mediciones solo se toman cuando los metacarpianos del atleta están alineados con el cúbito en el plano sagital[107]. Se instruye a levantar los brazos del suelo, mientras que la frente, el pecho, la pelvis y los pies mantienen contacto con el suelo. A continuación, se mide la distancia perpendicular entre la base de la articulación metacarpo falángica del tercer dedo y el suelo, o en su lugar se mide el ángulo establecido entre la línea del humero y el suelo. Para nuestro interés, consideraremos el desplazamiento angular del hombro mediante un acelerómetro situado a nivel de la radio-cubital inferior.

**Ejecución:** realizar calentamiento, ingresar fecha y hora de valoración, ingresar datos del atleta (deporte, edad, peso, talla), explicar procedimiento, realización de la prueba.

*Materiales*

Colchoneta o Mat, barra (PVC), acelerómetro.

*Valores normativos*

Si bien no existen valores normativos en atletas, a continuación, se presentan algunos valores de referencia que permiten guiar el proceso de los atletas hasta poder generar criterios de rendimiento específicos en esta población.

**Tabla 9**. Tabla con valores de referencia para la prueba de elevación de brazos.

| Clasificación | Hombres | | Mujeres | |
|---|---|---|---|---|
| | Lineal (cm) | Angular (°) | Lineal (cm) | Angular (°) |
| Excelente | > 31.7 | >20° | >29.8 | >20° |
| Bueno | 29.2 a 31.7 | 15° a 20° | 27.3 a 29.8 | 15° a 20° |
| Promedio | 20.9 a 29.2 | 10° a 15° | 19.0 a 27.3 | 10° a 15° |
| Regular | 15.2 a 20.9 | 5° a 10° | 13.9 a 19.0 | 5° a 10° |
| Pobre | <15.2 | <5° | < 13.9 | <5° |

## Prueba de Apley Scratch Test (Tomada Posterior)

Prueba diseñada para valorar movilidad de hombro, especialmente rotadores externos de hombro (supraespinoso e infraespinoso, redondo menor). Los movimientos que implica la prueba son los siguientes:

- Flexo-extensión del hombro.
- Rotación interna y externa del húmero en el hombro.
- Abducción y aducción escapular.

Los movimientos del hombro son parte de un complejo articular formado por cinco diferentes articulaciones: (i) gleno-humeral, (ii) escapulo-torácica, (iii) sub-acromial, (iv) acromio- clavicular y (v) esterno-clavicular. La participación de cada una de ellas se hace fundamental para los movimientos del hombro especialmente en los planos sobre la horizontal. Numerosos deportes requieren movimientos por sobre la horizontal (tanto a la altura de la cabeza, como por sobre ella), especialmente en lo referente a las pruebas de lanzamiento del algún tipo de implemento. De igual forma, deportes como la natación, remo u/o canotaje, implican demandas importantes sobre esta articulación, generando en numerosos casos lesiones de la unidad músculo-tendinosa de estructuras como el manguito rotador o de la musculatura rotadora interna de hombro. También pueden generarse patrones de movimientos alterados por restricciones de movilidad, debido a una mayor demanda de un grupo muscular por sobre su antagonista. Una reducida movilidad de la articulación gleno-humeral por rigidez articular o tensión a nivel del manguito rotador se considera a menudo un factor causante de lesiones en el hombro relacionados con el stress repetitivo[108]. Un estudio comparó la movilidad de hombro en powerlifters con diferentes niveles de entrenamiento, encontrando que los atletas de elite tienen una mayor restricción en la movilidad de hombro[109].

*Protocolo de valoración*

**Requisitos óptimos previos:** no requiere o no están descritos.
Contraindicaciones y precauciones: en caso que se sobrepongan las

manos, se mide la distancia con la cual ambos dedos se superponen. Es importante evitar el excesivo arqueamiento de la zona baja de la espalda o la rotación del tronco durante la prueba.

**Calentamiento:** trote, bicicleta y/o remoergómetro en intensidades de suave a moderado durante 10 minutos.

**Preparación:** la prueba de Apley Scratch o tomada posterior es una prueba útil para valorar la amplitud del movimiento del hombro, y en ella un hombro es abducido y rotado externamente hasta que la mano pase por detrás de la espalda mientras el lado contra lateral es aducido y rotado internamente, intentando alcanzar la mano contraria. La distancia entre los 2 dedos índices (o medios) es medida. Luego la prueba se repite, pero invirtiendo la posición de los brazos[110].

**Ejecución:** realizar calentamiento, ingresar fecha y hora de valoración, ingresar datos del atleta (deporte, edad, peso, talla), explicar procedimiento, realización de la prueba.

*Materiales*

Camilla, Cinta métrica.

*Valores normativos*

**Tabla 10**. Valores de referencia para la prueba de Apley Scratch Test[109].

| Prueba | Rango movimiento (cm) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Control | Nivel Bajo | Nivel Intermedio | Nivel Alto |
| Tomada Posterior Dominante | 3.9 ± 8.9 | 9.9 ± 7.7 | 17.5 ± 10.3 | 20.0 ± 20.0 |
| Tomada Posterior No- Dominante | 7.8 ± 9.6 | 15.1 ± 10. | 18.1 ± 11.7 | 24.0 ± 18.1 |

Más que intentar establecer valores normativos, los diferentes estudios que reproducen las pruebas antes mencionadas, muestran valores promedios o rangos de movimiento lineal o angular observados en

algunos deportes, o en sujetos normales, muchos de ellos en grupos etarios limitados o considerando un solo género en su estudio. Cada uno de ellos debe ser considerado solo como datos referenciales y es recomendable ir estableciendo datos propios de cada una de las pruebas, las cuales se muestran dependientes de la correcta ejecución de los test, de las características de la muestra, del deporte practicado y el nivel de experticia del mismo. A continuación, se muestran algunos valores referenciales aportados por algunos estudios y que se asemejan a los datos observados en las valoraciones practicadas en el Área de Biomecánica Deportiva. Se muestras categorizaciones establecidas que de igual forma pueden ser utilizadas como datos referenciales.

**Tabla 11**. Tabla resumen con valores de referencia de las valoraciones de flexibilidad que se realizan en el Área de Biomecánica Deportiva de la UCAD.

| Prueba | | Rango | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Excelente | Muy Buena | Buena | Regular | Deficiente |
| Sentar-alcanzar (cm) | | > 55 | 55.0 a 50.0 | 49.5 a 45.0 | 44.5 a 40.0 | < 40.0 |
| Thomas Modificado | Psoas (°) | > 10° | 10° a 6° | 5° a 0° | -1° a -10° | > -10° |
| | Cuádriceps (°) | > 80° | 80° a 60° | 59° a 50° | 49° a 40° | < 40° |
| | TFL (°) | < 5° | 5° a 10° | 11° a 15° | 16° a 20° | > 20° |
| Elevación Brazos (cm) | | > 35 | 30.0 a 35.0 | 25.0 a 29.5 | 20.0 a 24.5 | < 20.0 |
| Rotación de Tronco (°) | | > 50 | 49.5 a 45.0 | 44.5 a 40.0 | 39.5 a 35.0 | < 35.0 |
| AKE (°) | | > 0° | -4° a 0° | -5° a -10° | -11° a -20° | > -20° |
| Aductores Largos (°) | | > 60° | 59° a 55° | 54° a 50° | 49° a 45° | < 45° |
| Aductores Cortos (cm) | | > 6.5 | 7.0 a 12.5 | 13.0 a 16.5 | 17.0 a 23.0 | > 23.0 |
| Tomada Posterior (cm) | | > 2 | 2.0 a 0.0 | -0.5 a -5.0 | -5.5 a -10.0 | > -10.0 |

## Valoración del Control Postural

La postura bípeda es una habilidad motora relevante y uno de los requerimientos más importantes para todas las actividades de la vida diaria. El control postural es un sistema particularmente complejo que involucra la integración de diversos sistemas sensoriales y motores[111]. La correcta integración de los tres sistemas sensoriales (visión, visual y

vestibular) tienen un rol esencial en la mantención de la postura bípeda[112]. Por otro lado, el balance corresponde al proceso de mantener la posición del centro de gravedad del cuerpo verticalmente sobre la base de apoyo y se basa en una retroalimentación rápida y continua de las estructuras visuales, vestibulares y somatosensoriales para así generar una respuesta neuromuscular controlada y coordinada[112]. El balance es la base de todos los movimientos. Hay una constante pérdida y recuperación del balance durante la ejecución del movimiento voluntario, y aunque el balance generalmente se considera un proceso estático, corresponde más bien a un proceso dinámico altamente integrado que involucra muchas entradas sensoriales y neuronales. Se requiere balance en el desempeño de un gran número de tareas motoras. Para garantizar un rendimiento satisfactorio en las actividades deportivas, es necesario mantener un balance estático y dinámico acorde a los requerimientos presentados. El entrenamiento debe cumplir con desarrollar las habilidades sensoriomotoras en los atletas durante una postura bípeda[91,113]. Existe evidencia que demuestra la necesidad de algunos deportes en mantener un balance mucho más desarrollado[114]. Algunos ejemplos son el tiro deportivo[115], la gimnasia artística[116,117], y probablemente otros deportes como fútbol, básquetbol, vóleibol y atletismo. Estos deportes se caracterizan por exigir un mayor balance en bípedo, mantener largos periodos una posición estática o requerir mayor balance unilateral durante la ejecución. La relación entre balance y prevención de lesiones ha sido establecida previamente[91], observándose una relación directa entre un pobre balance y un mayor riesgo de sufrir lesiones, principalmente en articulaciones como la rodilla y el tobillo[113,118]. Por otro lado, el balance ha mostrado ser un pilar fundamental en el desarrollo de las actividades deportivas y por lo tanto, se requiere una correcta valoración y monitoreo con la finalidad de mantener y/o mejorar el rendimiento.

## Objetivos de la valoración del control postural

El control postural es esencial en el desarrollo del gesto motor durante las actividades deportivas. Por lo tanto, la valoración dentro del alto

rendimiento se hace preponderante tanto para el rendimiento deportivo como para la prevención de algunas lesiones músculo esqueléticas. A continuaciones se señalan los principales objetivos de la valoración del balance:

- Valorar y monitorear de que el atleta tenga las habilidades necesarias para realizar el deporte.
- Monitorear programas de entrenamiento basados en la mejora del balance.
- Identificar el déficit propio de cada atleta en relación al balance con el objetivo de prevenir lesiones.

## Importancia del control postural en el rendimiento y la prevención de lesiones

El control de la estabilidad postural es esencial en la mayoría de los deportes, y en relación al rendimiento, éste presenta una sobrecarga en los sistemas[119] que colaboran en la estabilidad cuando no son desarrollados de manera óptima. Existe una relación permanente entre la falta de estabilidad y las lesiones de la extremidad inferior. Por otro lado, a nivel del rendimiento deportivo, la estabilidad juega un rol esencial en algunos deportes que se requieren altos niveles de concentración y precisión. Conocer el nivel de estabilidad, ya sea para prevenir lesiones como para mejorar el rendimiento deportivo, es esencial en los deportes que se requiere precisión. De esta manera, esta valoración tiene como objetivo determinar el rol del balance postural en la prevención de lesiones y en el rendimiento deportivo en algunos deportes de alto rendimiento, y poder describir niveles y rangos óptimos de balance en los deportes en los cuales el control postural es esencial para el correcto desempeño motor.

## Métodos de valoración en control postural

Existe una variedad de pruebas y herramientas, tanto de campo como de laboratorio, encargadas de valorar el balance en atletas. Algunas de las

pruebas de campo utilizadas son el test de Romberg, en donde el atleta se mantiene en posición bípeda con los pies juntos, brazos a los lados y ojos cerrados[120]. Otra alternativa de campo es la prueba de tándem, en la cual se requiere colocar un pie delante del otro (talón con la punta de pie contraria). Sin embargo, ambas pruebas han sido criticadas por la falta de sensibilidad y objetividad. En este documento, nos centraremos en la valoración del balance estático a través de plataformas de fuerza. Hoy en día, se encuentran disponibles en el mercado muchos sistemas para medir el balance. Sin embargo, la herramienta más utilizada para medir el balance, tanto en el ámbito científico como clínico, son las plataformas de fuerza. Los sistemas basados en las plataformas de fuerza se basan en la medición de la fuerza de reacción vertical del piso y proporcionan un medio para calcular el centro de presión (CoP). El CoP representa el centro de distribución de la fuerza total aplicada a la superficie de apoyo. El CoP se calcula a partir del momento horizontal y vertical obtenidos por plataformas de fuerza triaxial. La variable más utilizada para el análisis del balance postural con plataformas de fuerza es a través del análisis del CoP, el cual se utiliza para registrar las oscilaciones del cuerpo bajo condiciones estáticas, ya sea en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia[118,121,122].

En la actualidad, desde el Área de Biomecánica Deportiva UCAD, se establece como valoración de rendimiento el balance bípedo y para valorar la vulnerabilidad de lesionarse en balance monopodal y de CORE.

## Prueba de Balance Bípedo

Para el análisis del balance con objetivos de rendimiento, la prueba más utilizada corresponde al análisis en bípedo con plataformas de fuerza. Las variables analizadas a través de la plataforma de fuerza es la cantidad de oscilaciones expresadas en el área del CoP (mm) y la velocidad de oscilación del CoP (mm/s). Ambas variables han sido utilizadas en atletas para la valoración del balance postural con el objetivo de determinar el rendimiento deportivo y determinar alguna anomalía, teniendo como propósito implícito determinar el rol que

cumplen las entradas sensoriales visuales y somatosensoriales durante una postura bípeda estática[123].

*Periodicidad del registro*

Trabajos previos han mostrado que un programa de entrenamiento del balance de 2 a 3 días por semana durante 8 semanas es suficiente para mejorar el balance en sujetos sanos jóvenes. Por lo tanto, la frecuencia de monitoreo debería ser aproximadamente de dos meses[124].

*Protocolo de valoración*

**Requisitos óptimos previos:** se sugieren realizar la prueba de balance con el atleta descansado, sin fatiga. Evitar realizar la prueba con alguna lesión en el aparato músculo esquelético que complique la posición bípeda.

**Calentamiento:** no requiere.

**Preparación:** se deben preparar los materiales y el entorno acorde a los descrito en la ejecución y materiales de la prueba.

**Ejecución:** la prueba consiste en ubicar al atleta sobre una plataforma de fuerza y realizar un test de Romberg (ojos abiertos vs ojos cerrados) en condición de superficie firme y en superficie inestable (espuma). Las indicaciones generales al atleta es que debe subir a la plataforma de fuerza y mantener el balance evitando el movimiento lo menos posible durante el tiempo que dure el registro (de 30 a 90 segundos). Se debe tener en consideración la posición de los pies (deben formar un ángulo de 30° con respecto a la vertical). Adicionalmente, se le solicita al atleta mantener fija la mirada hacia algún objetivo (por lo general se dibuja un circulo a 1 metro de distancia en la pared) y con las manos libres a un costado. Una recomendación, es mantener el ambiente externo alejado de ruido con la finalidad de no distraer al atleta en su mantención del balance[123,125].

*Materiales*

Plataformas de fuerza, espuma que abarque las plataformas.

*Valores normativos*

**Tabla 12**. Valores referenciales de prueba de balance en bípedo en una condición de superficie firme.

| Deporte | Edad | Sexo | Área oscilación A-P | Área oscilación L-M | Velocidad oscilación A-P | Velocidad oscilación L-M |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Vóleibol | 25.7 (7.6) | Mujeres | 15.5 | 6.7 | 11.8 | 6.4 |
| Biatlón | 16.6 (1.6) | Hombre y mujeres | 12.5 | 24 | 9.7 | 9.8 |
| Pentatlón Moderno | 18.0 (1.8) | Hombre y mujeres | —- | —- | 5.9 | 6.1 |
| Gimnasia | 18 - 25 | Hombres | —- | —- | 7.1 | 4.8 |
| Vóleibol | 18 - 25 | Hombres | —- | —- | 2.6 | 5.3 |
| Taekwondo | 15 - 27 | Hombres | 30.6 | 5.0 | —- | —- |
| Tenis | 15 - 27 | Hombres | 31.5 | 9.0 | —- | —- |

Se observa el área (mm) y la velocidad de oscilación (mm/s) del CoP en el eje A-P: antero-posterior y L-M: latero-medial. CoP: centro de presión.

## Prueba de Balance Monopodal

La prueba que más ha mostrado relación entre el balance e incidencia de lesiones es la prueba de balance monopodal sobre plataforma de fuerza (**Figura 17**). En esta prueba se le solicita al atleta realizar un apoyo monopodal con extremidad derecha sobre plataforma de fuerza, mientras que la contralateral se eleva con flexión de 90º de rodilla. Luego se repite la prueba con la extremidad contraria. Adicionalmente se le solicita mantener las manos sobre las caderas. Al igual que en condiciones bípedas, el área y la velocidad de oscilación del CoP son las variables utilizadas para analizar las condiciones monopodales. Un aumento en las oscilaciones y en la velocidad en condiciones monopodales se ha asociado a alteraciones somatosensoriales de la extremidad inferior [126].

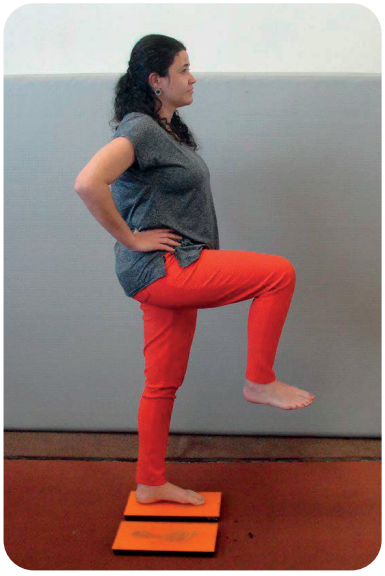


**Figura 17**. Análisis del balance monopodal con plataforma de fuerza.

*Periodicidad del monitoreo*

Al ser una prueba de balance, se recomienda realizar un monitoreo de los atletas cada 2 meses (tiempo necesario para observar diferencias sustanciales en un programa de entrenamiento del balance).

*Protocolo de valoración*

**Requisitos óptimos previos:** se sugieren realizar la prueba de balance con el atleta descansado, sin fatiga. Evitar realizar la prueba con alguna lesión en el aparato músculo esquelético que complique la posición bípeda y unipodal.

**Contraindicaciones y precauciones:** se recomienda tener precaución con la caída del atleta. El evaluador debe estar atento a la prueba, detrás del sujeto monitoreado.

**Calentamiento:** no requiere.

**Ejecución:** se le solicita a atleta subir sobre plataforma de fuerza descalzo. Una vez posicionado sobre plataforma, se le solicita mantener

apoyo monopodal con una extremidad mientras la otra es suspendida con 90° de flexión de rodilla y cadera. El registro debe ser entre 30 a 90 segundos. La prueba se repite con extremidad contralateral.

## Prueba de Balance del Core

El core ha sido denominado como el complejo lumbo pélvico-cadera[127] y el entrenamiento o un correcto funcionamiento del core ha mostrado ser esencial para la prevención de lesión en atletas, la salud general y para el dolor lumbar [128-131]. En la literatura, el entrenamiento del core se divide a menudo en el entrenamiento de la resistencia del core, entrenamiento de la fuerza del core y entrenamiento del balance del core[132-134], siendo esta última la de interés para este documento. El balance del core se ha definido como "la capacidad estabilizadora del sistema para mantener las zonas neutrales intervertebrales dentro de las limitaciones fisiológicas". El entrenamiento del balance del core normalmente incluye un reclutamiento de bajo umbral de los músculos del core[135] con ejercicios de inestabilidad que hacen hincapié en las vías propioceptivas[133 136]. Se ha propuesto que el entrenamiento del balance del core es beneficioso para prevenir el dolor lumbar, mejorar el estado físico general y mejorar el rendimiento en los atletas[137,138].

**Figura 18**. Descripción de la prueba de estabilidad para el core.

*Periodicidad del monitoreo*

Al ser una prueba de balance, se recomienda realizar un monitoreo de los atletas cada 2 meses.

*Protocolo de valoración*

**Requisitos óptimos previos:** se sugieren realizar la prueba de balance con el atleta descansado, sin fatiga. Evitar realizar la prueba con alguna lesión en el aparato músculo esquelético que complique la posición bípeda y unipodal.

**Contraindicaciones y precauciones:** sólo se requiere que atleta logre mantener posición por un máximo de 30 segundos.

**Calentamiento:** No requiere.

**Ejecución:** la prueba de balance del core se realiza con plataformas de fuerza (**Figura 18**). Se le solicita al atleta posicionar la rodilla sobre plataforma de fuerza mientras la otra extremidad se mantiene en el aire con flexión de rodilla en 90. Adicionalmente, se le pide al atleta cruzar los brazos en el pecho y mirar hacia el horizonte. Las indicaciones al atleta son: mantener el balance y evitar los movimientos lo más que pueda[134]. Se realiza un registro de 30 segundos con cada extremidad. Las variables analizadas son el desplazamiento y velocidad del centro de presión.

## Valoración de la Rigidez o Stiffness

Los tejidos blandos, y en específico la unidad músculo tendínea presentan propiedades mecánicas, como el tono muscular, el stiffness y la elasticidad, las cuales se manifiestan por medio de una respuesta intrínseca ante una carga tendiente a producir algún tipo de deformación del tejido, donde la relevancia de cada uno de ellos forma parte del óptimo funcionamiento del sistema musculo-esquelético. Con

relación al stiffness propiamente tal, este puede ser definido de manera simple como la relación existente entre la deformación de un objeto en respuesta a una fuerza aplicada[139]. Este concepto, se basa en la llamada ley de Hooke, en donde los objetos que siguen esta ley son cuerpos deformables que almacenan y devuelven energía elástica. Así, la ley de Hooke se define como:

$$F=kx$$

donde **F** es la fuerza necesaria para deformar un objeto, **k** es la constante de proporcionalidad (rigidez) y **x** es la distancia que el objeto es deformado[140]. Basado en esta noción, un simple modelo de masa de resorte ha sido desarrollado para proporcionar una estimación del stiffness de las extremidades inferiores durante una prueba de salto, en donde el cuerpo humano está representado por la masa corporal, y el sistema de resortes por las extremidades inferiores. Así, considerando, por ejemplo, el stiffness del cuerpo completo, este puede ser definido como la relación existente entre el peak de la fuerza de reacción del suelo (fuerza aplicada) y el peak de desplazamiento del centro de masa (deformación). Con respecto al stiffness y su relación con el deporte, la evidencia indica que un incremento en el stiffness de las extremidades inferiores está asociado con un aumento en el rendimiento en tareas atléticas como saltar, lanzar, correr y cambios de dirección. Se señala que un atleta que pueda demostrar mayores niveles de stiffness puede almacenar más energía elástica durante la fase de contacto con el suelo y generar una salida de mayor fuerza concéntrica en el empuje, aumentando la velocidad de carrera y la altura del salto. Desde un punto de vista práctico, para un óptimo rendimiento en la carrera o salto, un apropiado nivel de stiffness en las EEII (extremidades inferiores) es necesario para absorber las fuerzas de reacción, así como también para depositar y reutilizar la energía elástica[141]. Así pareciera ser que un nivel elevado de stiffness resulta ser beneficioso para movimientos rápidos durante los ciclos de estiramiento-acortamiento (SSC), mientras que para movimientos de SSC lentos, una mayor compliance permitiría utilizar de mejor manera el pre-estiramiento excéntrico y amortiguar el impacto[142]. Al respecto, se sugiere que, si bien es cierto que una mayor

compliance aumentará el almacenamiento y la utilización de energía elástica durante el SSC, podría haber un punto de disminución del retorno, ante un compliance del músculo y del tendón demasiado alta, determinando que la siguiente contracción concéntrica no producirá ningún aumento adicional en la fuerza o de retorno de energía, pudiendo incluso potencialmente reducirlo. Probablemente esto se deba a que se invierte demasiado tiempo en la amortización durante la fase SSC[143]. Por lo tanto, existe un nivel "óptimo" de stiffness el cual es dependiente de la antropometría y las capacidades del atleta, así como de qué tejidos y estructuras están comprometidas con la actividad deportiva, ya que eso determinará si se ven más beneficiados con un mayor stiffness o una mayor compliance. En relación al punto de qué tejidos y/o estructuras están siendo más demandados en una tarea determinada, es importante señalar que la mayoría de los tejidos vuelven a su estado original cuando la fuerza que inició su deformación es reducida o detenida, por lo cual estos tejidos se conocen como "elásticos". Al respecto, los tendones son tejidos elásticos y su acortamiento puede ocurrir a velocidades mucho más altas que el acortamiento muscular. Además, en los tendones se ha demostrado que tienen una alta tasa y eficiencia de retorno de energía durante el retroceso, estimado en un 65-90%. Aunque existen datos limitados sobre el músculo, se sugiere que aproximadamente el 60% de la energía puede ser devuelta para el trabajo mecánico por los músculos. Esto es debido al efecto viscoso del músculo, asegurando que la energía es convertida en calor y disipada. Estos datos indican que los tendones son más eficientes en su capacidad de almacenar energía elástica[139]. Por lo tanto, para un retorno de energía elástico óptimo, durante los movimientos que utilizan el SSC, es importante entrenar el músculo para que estén "más rígido" que el tendón, ya que cuando dos resortes de diferente rigidez se colocan en serie se genera más energía almacenada en el resorte con mayor compliance[139]. Esto tiene importantes implicancias para los entrenadores, ya que implica que para aumentar la capacidad de producción de fuerza de los músculos es fundamental también aumentar el stiffness. La vinculación del stiffness con las lesiones, son menos concluyentes, ya que tanto se ha postulado que el stiffness excesivo, así como el insuficiente a nivel de las extremidades pueden aumentar el riesgo de lesión. Al respecto, cabe consignar que

hay consenso que cierto nivel de stiffness en las extremidades inferiores es necesario para la amortización de las fuerzas deformantes en impactos de baja-mediana y alta energía. Es por eso que el stiffness muscular y músculo articular tienen el potencial para jugar un rol crucial en el control neuromuscular de la estabilidad articular, prevención de lesiones y rendimiento atlético[144]. A pesar del potencial para un mayor rendimiento atlético y asociaciones con lesiones, las mediciones del stiffness de las extremidades inferiores no se administran comúnmente en comparación a otros parámetros del rendimiento deportivo, quizás debido a las limitaciones prácticas y las complejidades percibidas. Identificar el parámetro apropiado para probar el stiffness de las extremidades inferiores es un desafío en sí mismo; sin embargo, las medidas globales de stiffness como el stiffness vertical y de las piernas han demostrado que influyen en el rendimiento deportivo y en el riesgo de lesiones. Esto debido a los avances en la tecnología e investigación que han permitido que estas medidas sean viables para el entrenador, permitiendo con ello su valoración y su efecto sobre el rendimiento deportivo[139].

## Importancia del stiffness con el rendimiento deportivo y prevención de lesiones

*Rendimiento deportivo*

Mucho se ha cuestionado el rol que cumple el stiffness en el rendimiento deportivo, ya que indistintamente se le ha atribuido un factor positivo en la generación de fuerza y un factor negativo en lo referente a restringir o limitar una mayor extensibilidad de la unidad músculo tendinosa y condicionar un mayor riesgo de lesión. De esta forma, como se mencionó previamente, algunos han postulado que cierto nivel de stiffness es beneficioso para lograr un mejor rendimiento atlético, sin embargo, demasiado o muy poco stiffness podría aumentar el riesgo de lesiones[140]. Algunos estudios estiman que el stiffness es un elemento clave en la mejora del salto y/o la carrera[145], por lo cual se sugiere que ciertos niveles de stiffness resultan beneficiosos para una óptima

utilización del ciclo estiramiento-acortamiento. Si bien el mayor estiramiento es dependiente de una mayor extensibilidad del músculo, una mejor utilización de la energía elástica almacenada en la unidad músculo tendínea es dependiente del nivel de stiffness de la unidad. Así, un mayor stiffness de la pierna durante el movimiento de contra-movimiento puede ser ventajoso porque permite un mayor almacenamiento y liberación de energía elástica para aumentar la fuerza de dicho movimiento[146,147]. Así, dos conceptos contradictorios nos llevan a una sola conclusión, que para un buen rendimiento deportivo en deportes que se basan en constantes ciclos de estiramiento-acortamiento una extensibilidad y un stiffness óptimo es requerido, y que ninguno debe exceder en demasía en desmedro del otro si es que se entrenan en forma separada. Varios estudios han examinado la relación entre stiffness y rendimiento deportivo, algunos de ellos reportando que el stiffness de la pierna aumenta con la frecuencia del salto cuando los sujetos saltan en el mismo lugar[148-150]. En otro estudio se estableció una correlación entre el incremento de la velocidad y el incremento del stiffness durante el rebote post aterrizaje de un salto[151]. Durante pruebas como el salto vertical diferentes parámetros han sido estudiados. La tasa de desarrollo de la fuerza es uno de ellos, la cual se correlacionaría positivamente con el rendimiento de un salto del tipo CMJ (altura de salto). Considerando que la tasa de desarrollo de la fuerza depende entre otros factores de los componentes elásticos en serie, esta podría correlacionarse positivamente con el stiffness de la unidad músculo tendinosa de los miembros inferiores durante la prueba de un salto vertical del tipo CMJ. Al respecto se ha mostrado una correlación negativa entre las propiedades elásticas de las estructuras tendinosas del vasto lateral[152] y la diferencia existente entre en salto del tipo CMJ v/s un salto del tipo SJ (Squat Jump). Por otra parte, se han encontrado correlaciones positivas entre el stiffness del tendón del vasto lateral y la altura máxima de un salto contra-movimiento[153]. En otro estudio, el CMJ se correlacionó positivamente con diferentes índices de stiffness de la unidad músculo tendinosa del tríceps sural, sugiriendo que las diferencias en el stiffness de la unidad musculo-tendinosa explica en parte el mejor rendimiento en un salto contra-movimiento[154]. Por otra parte, el incremento en el stiffness de tren inferior en relación al

aumento de la velocidad de la actividad realizada podría ser necesaria para resistir el colapso de la extremidad inferior durante la fase inicial del aterrizaje y permitir una mejor reutilización de la energía durante la fase propulsiva. Resultados similares se han encontrado en la carrera con un incremento del stiffness, lo que se asocia a un incremento en la velocidad de carrera[155-157]. Con respecto a los efectos del stiffness sobre la carrera, diversos autores han encontrado que específicamente el stiffness vertical aumentó con la velocidad de la carrera, mientras que el stiffness de la pierna permaneció constante[158-160]. Sin embargo, en la medida que la velocidad aumenta, el stiffness de la pierna incrementa en un 60%, sugiriendo que el stiffness de la pierna es importante durante carreras a altas velocidades[161]. También se ha sugerido que el stiffness vertical se correlaciona sustancialmente con la segunda y tercera fase del sprint de los 100 m (segunda fase 30–60 m, tercera fase 60–100 m) en velocistas hombres a nivel nacional[162]. Algunos estudios también sostienen que el stiffness es un factor clave en el mejoramiento del endurance, donde atletas entrenados en resistencia tienen mayor stiffness vertical y específicamente un mayor stiffness de rodilla y tobillo que la población general en una prueba de 5 saltos verticales máximos[163]. Otro aspecto de la carrera relacionado con el stiffness, pero ahora en forma negativa, es la longitud de la zancada, en donde una mayor longitud de zancada se ha asociado a un menor stiffness, esto probablemente determinado por una mejor flexibilidad de la musculatura antagonista[164,165]. La economía en la carrera también ha sido relacionada con el stiffness, tanto con fines positivos[166] como negativos. La mayoría de los estudios sugieren que un incremento en el stiffness se traslada en una mayor economía de carrera[165,167,168], lo que estaría dado por la utilización de la energía elástica depositada durante la carga en la fase de apoyo[169]. También debemos señalar que la superficie también tendría un efecto sobre el grado de stiffness. Una superficie con un bajo stiffness podría causar un incremento en stiffness de la pierna durante un salto vertical. Finalmente, en términos rotacionales, con respecto a la mayor o menor contribución de la rodilla o tobillo al stiffness de extremidad inferior, aparentemente este también estaría dado por el tipo de actividad estudiado y/o el patrón de carrera

realizado así como la superficie de contacto del pie durante la fase de apoyo[151,155,170]. Así, algunos estudios sugieren que aterrizajes con antepié estarían asociados a un mayor stiffness de rodilla, mientras que aterrizajes con el retropié estarían asociados con un incremento del stiffness de tobillo.

*Prevención de lesiones*

Con relación a la prevención de lesiones, un beneficio que se ha asociado a un incremento del stiffness a nivel muscular y articular es el de un incremento de la estabilidad articular, lo que cobra relevancia en actividades como el salto y el aterrizaje, permitiendo un mejor soporte sobre la probable deformación de las estructuras sometidas a tensión. Al respecto, motivo de estudio ha sido la interrogante de por qué las mujeres muestran mayor cantidad de lesiones de "no contacto" que los hombres, especialmente en lo referido a las lesiones de ligamento cruzado anterior (LCA). Múltiples causas han sido atribuidas a esta mayor frecuencia de lesiones como factores neuromusculares, factores anatomo-estructurales y factores relacionados al stiffness, considerando que el stiffness es una variable que representa las características de absorción de impactos de la unidad músculo-tendón de la articulación[171]. En función de lo mismo, se ha asociado un mayor stiffness en hombres, lo que favorecería el hecho de presentar un menor riesgo de lesiones de no-contacto en comparación a la mayor prevalencia de lesiones existentes en mujeres[172]. El mecanismo que explica esta diferencia todavía se desconoce pero el control neuromuscular y las diferencias de volumen muscular pueden afectar el stiffness muscular y articular, donde los resultados de diferentes estudios apuntan a esta variable para explicar de por qué las mujeres incurren en más lesiones de rodilla que sus homólogos masculinos[172]. De manera tal, pareciera ser que una cantidad adecuada de stiffness resulta relevante en la prevención de lesiones en el ámbito deportivo[173].

## Métodos de valoración del Stiffness

El stiffness habitualmente es medido como el cociente de fuerza para

mantener o modificar una longitud dada, y en el cuerpo humano puede ser cuantificado desde el nivel de una sola fibra muscular hasta un modelo que incluya a todo el cuerpo, tal como si fuese un resorte de masa. Por lo tanto, el stiffness en el cuerpo humano o partes del cuerpo retratan su capacidad para soportar el desplazamiento o deformación de los diferentes tejidos una vez que una fuerza externa o interna se aplica. Estos stiffness de un segmento y/o del cuerpo están condicionados por la contribución del stiffness individual que otorga cada estructura que conforma el segmento o cuerpo, es decir, el verdadero stiffness del cuerpo humano es la combinación del aporte de todos los valores de stiffness generados por los músculos, tendones, fascias, ligamentos, cartílagos y huesos[169]. Cabe señalar que la contribución de cada uno es variable y dependiente de las propiedades de cada tejido. Es por eso que se han diseñado sistemas globales y otros más ajustados que permitan conocer en forma más específicas las propiedades mecánicas de los tejidos. A continuación, se mencionan algunas de las formas y técnicas más utilizadas en la determinación del stiffness.

*La técnica de oscilación libre*

Valora el stiffness de un segmento basado en el supuesto de que los músculos humanos se comportan como un sistema de resorte amortiguado. Esta suposición sugiere que si cualquier perturbación se aplica mientras está bajo carga, el sistema oscilará a una frecuencia natural amortiguada debido a la naturaleza de las estructuras musculares y tendinosas. En un sistema de resorte que opera como un amortiguador, cuando se aplica una perturbación, el coeficiente de amortiguación provocará que las oscilaciones subsiguientes disminuyan con el tiempo.

*Elastografía asociado a ultrasonografía*

Valoración que utiliza ondas de ultrasonido enfocadas en viajar horizontalmente por los tejidos blandos para medir las propiedades

mecánicas. Se ha establecido como método confiable para medir parámetros de tejidos blandos con una correlación sustancial entre las mediciones generadas por esta vía y usando Myoton. Sin embargo, estas técnicas sofisticadas pueden causar deformaciones del tejido monitoreado y podrían alterar las propiedades mecánicas de los tejidos musculares dependiendo de su estado basal[174,175].

*Electromiografía de superficie*

A través del procesamiento de señales eléctricas que se generan a nivel muscular se ha utilizado en la valoración del tono basal, en busca de alteraciones de este. También se ha utilizado para pesquisar niveles de activación muscular generado por la propia contracción o ante la aplicación de una carga externa. Sin embargo, resulta costosa su implementación y requiere un nivel de experticia por parte del operador.

*Dinamometría isocinética*

La medición de la resistencia al estiramiento pasivo utilizando una dinamometría isocinética representa la valoración Gold Standard para valorar la rigidez muscular, siendo válida para monitorear diferentes condiciones musculares[176-178].

*Miotonometría (Myoton)*

Permite la valoración no invasiva de cualquier músculo esquelético superficial y otros tejidos biológicos blandos, ya sea en un estado de relajación o contracción. Está formado por un dispositivo electrónico que es capaz de registrar las múltiples características relacionadas con el tono muscular como tensión, elasticidad y stiffness. El cálculo del stiffness muscular por miometría implica una pequeña perturbación, provocada por el dispositivo aplicado a la piel que cubre el músculo. Un acelerómetro mide las características de deformación del músculo y calcula el stiffness en base al nivel de disminución (amortiguación) de las oscilaciones naturales exhibidas. Comúnmente los modelos de

miómetros reportados incluyen Myoton-2, Myoton-3, y más recientemente el Myoton-Pro. Según los informes, la miotonometría muestra altos niveles de confiabilidad, reproductividad y sensibilidad. También destaca su facilidad de uso, sin embargo, un aspecto a considerar en su contra es que solo resulta aplicable a la musculatura superficial.

*Stiffness Vertical*

A nivel de tren inferior, se ha determinado comúnmente el stiffness tanto a nivel segmentario como a nivel articular, mostrando diferentes formas en su determinación. Un modelo simplificado creado para la valoración del stiffness vertical es el que considera la pierna como un resorte unidireccional, el cual, sin embargo, no logra diferenciar la contribución de los diferentes componentes que participan en la generación del stiffness. Este modelo no considera las diferentes estructuras sometidas a deformación como músculos, tendones, cartílagos, fascias y huesos, a los cuales se deben agregar reflejos neurales, componentes visco elásticos y el control del sistema nervioso central. De igual forma, en este modelo no son considerados aspectos relacionados con la conformación de los diferentes componentes del músculo, ya sea en serie o en paralelo, así como los diferentes grados de libertad involucrados en el movimiento, de ahí la nominación por parte de algunos autores como "quasi- stiffness vertical", más que un stiffness vertical como tal[169]. De todas formas, para efectos de simplificar la descripción de la valoración y sus condicionantes, hablaremos de stiffness vertical. Considerando el modelo en el cual las extremidades son homologadas a un sistema de resorte, se pueden calcular dos tipos de stiffness: (i) stiffness vertical (Kvert), que busca modelar el desplazamiento vertical del centro de masa y, (ii) el stiffness de la pierna (Kleg), que busca modelar la deformación de la extremidad inferior. Por esta razón, la utilización de Kvert puede considerarse más aplicable a dominantes tareas verticales como saltar verticalmente o aterrizar después de un salto vertical, mientras que Kleg puede ser preferible si se está buscando modelar el movimiento anteroposterior o medio lateral,

como por ejemplo saltos horizontales, un sprint o simplemente correr a una velocidad constante. Sin embargo, es importante reconocer que las mediciones de Kvert y Kleg han revelado relaciones dispares con el rendimiento y/o cambios en la intensidad del ejercicio en investigaciones basadas en carreras. Algunos autores utilizan indistintamente el stiffness vertical con el stiffness de la pierna, lo que puede considerarse un error. Si bien ambas asumen el concepto de un cuerpo rígido que se deforma a modo de resorte, el stiffness vertical considera el desplazamiento del centro de masa, mientras el stiffness de la pierna, busca determinar la compresión específica de la pierna[165].

*Stiffness Articular*

En cuanto al stiffness articular, también ha sido determinado y puede contribuir a determinar la influencia de cada articulación de la extremidad inferior en el stiffness global. Así, el stiffness articular también puede proporcionar valiosa información al examinar una variedad de tareas atléticas debido a la importancia de la rigidez específica de la tarea. Por ejemplo, durante movimientos de alta frecuencia con tiempos de contacto cortos (velocidad máxima de sprint, saltos/saltos rápidos), el stiffness del tobillo probablemente sea el principal determinante[148,149,163], mientras que las tareas que requieren un mayor tiempo de contacto y mayores salidas de impulso (salto de altura máxima, fase de aceleración de sprint) ponen un mayor énfasis en el stiffness de la rodilla[141,151]. Modelos de simulación por computadora bidimensionales[148,149] demostraron que el stiffness de las piernas durante los saltos bilaterales se modulaban como consecuencia de los cambios en la rigidez del tobillo y no se veían afectados por los cambios en la rigidez de la rodilla. Por el contrario, también se ha sugerido que el stiffness de la rodilla, pero no el stiffness del tobillo, explicaba la variación en el stiffness vertical durante el salto bilateral máximo[163]. Además, se ha demostrado que el stiffness de la rodilla, aunque no afecta la rigidez vertical, juega un papel importante en la modulación de la producción mecánica y el rendimiento general[179,180]. Por estas razones, no debe descartarse el papel de la articulación de la rodilla en la modulación de las asimetrías de stiffness vertical. Es probable que las

medidas de stiffness global demuestren una mayor confiabilidad que el stiffness determinado a nivel articular, aunque los profesionales deben tratar de establecer la confiabilidad dentro de sus propios métodos de prueba y cohortes. En este momento, parecería prudente recomendar que se monitoree el stiffness vertical durante las tareas en el plano sagital, como saltos y saltos reactivos (drop jump). También se debe considerar que medidas de stiffness vertical son las más rápidas y fáciles de obtener en el campo, requiriendo la menor cantidad de equipo y medidas. Así, el stiffness vertical parece proporcionar un perfil confiable del stiffness y ha mostrado fuertes asociaciones con el rendimiento tanto en un nivel inter como intra-individual. Por lo tanto, los biomecánicos deportivos a menudo regresan a los modelos más simples de masa-resorte para estimar el stiffness de las piernas y el stiffness vertical a pesar del factor de no consideración del aporte individual de cada estructura comprometida en la tarea. La valoración del stiffness permite monitorear las condiciones mecánicas de músculos, fascias y tendones tanto durante los procesos de entrenamiento, como para establecer un parámetro basal que ayude a valorar los procesos de recuperación. De igual forma como se planteo inicialmente, cobra relevancia conocer los niveles de stiffness en la musculatura de tren inferior en deportes de velocidad y salto, dado la importancia de este en el rendimiento. Por otra parte, monitorear asimetrías de stiffness entre lado dominante y no dominante, así como descompensaciones en la relación agonista-antagonista, pueden ayudar a explicar diferencias en el rendimiento deportivo. También su determinación puede proveer de información sobre los cambios de las propiedades mecánicas del músculo y del tendón producto de la fatiga y sobre entrenamiento. Cabe señalar que el stiffness muscular está estrechamente relacionado con el rendimiento en actividades dinámicas y puede ser usado como un indicador de carga e intensidad del entrenamiento. También se debe consignar, que, en los procesos de rehabilitación, el monitorear el stiffness permite consignar anormalidades de los tejidos blandos que estén asociadas a una patología, así como la eficacia de un tratamiento. El poder valorar las propiedades mecánicas de los tejidos como el stiffness, juega un rol clave en la rehabilitación y monitoreo de la eficacia terapéutica en los desórdenes músculo esqueléticos. Desde el

punto de vista de la prevención de lesiones, el detectar a tiempo anormalidades en el stiffness a nivel de la unidad músculo-tendínea puede ayudar a prevenir lesiones. Algunos estudios denotan que ciertos niveles de asimetría pueden ser consignadas como signo de anormalidad cuando los índices de asimetría son > 10%. Finalmente, la valoración del stiffness entrega valiosa información sobre la musculatura que controla la estabilidad postural, por lo tanto, puede ser fundamental conocer su estado en deportes de arte y precisión. Así, y en consideración a lo anterior, se han definido por parte del Área de Biomecánica Deportiva incorporar como parte de las valoraciones primarias el monitoreo del stiffness mediante la medición de dos pruebas: (i) miotonometría a nivel tendíneo y, (ii) stiffness vertical a través de un salto del tipo contra movimiento (CMJ).

## Valoración del stiffness mediante un salto vertical

Describe el desplazamiento vertical del centro de masa en respuesta a la fuerza de reacción vertical del suelo durante una tarea realizada en el plano sagital[169]. El stiffness vertical tiene como objetivo aproximar el grado en que las piernas se comprimen en respuesta a las fuerzas de reacción del suelo[165]. En relación con otras aproximaciones de stiffness, es un método rápido y fácil para valorar las propiedades visco-elásticas de la extremidad inferior[140]. Las mediciones de stiffness de las extremidades inferiores (Kvert y Kleg) se han realizado con mayor frecuencia durante las tareas de salto cíclico, ya que proporcionan la manera más simple de valorar el stiffness y así proporcionar una fuerte representación de la rigidez músculo-esquelética. Los aterrizajes después de un salto también se han utilizados para monitorear los valores de Kvert, así como sus asimetrías[181,182]. Para su valoración, las tareas de salto y aterrizaje suelen utilizar plataformas de fuerza que permiten determinar las fuerzas de reacción del suelo, y se consideran el Gold Standard para las pruebas de salto. Esto, por otra parte, ha impedido su uso masivo para muchos entrenadores e investigadores que se encuentran trabajando fuera del deporte de élite o sin vínculos con

universidades[139]. Sin embargo, con los recientes avances en tecnología hoy existen plataformas de fuerza de más bajo costo que pueden determinan en forma directa los niveles de stiffness vertical tanto a nivel bilateral como en cada una de las extremidades inferiores. Al respecto, las plataformas Pasco®, se muestran confiables en las valoraciones de salto. En un estudio valoraron diferentes parámetros de un salto CMJ en una plataforma portátil (Pasco, PS-2141, PASCO Scientific, California, USA) v/s una plataforma fija de laboratorio (Kistler, Type 9281, Kistler Instruments, Hampshire, UK), encontrando una correlación extremadamente grande (r=0.99 a 1.00) entre ambas plataformas[183]. Un estudio similar concluyó que la plataforma de fuerza portátil Pasco® PS-2142 se puede utilizar en la valoración de parámetros biomecánicos, especialmente en valoraciones que involucran impulsos verticales y horizontales, con buena confiabilidad en comparación con una plataforma catalogada como Gold Standard[184].

*Materiales*

Dos plataformas de fuerza (e.g., Pasco® PS-2141), computador, software ForceDecks o similar.

*Procedimiento de valoración*

El atleta se ubica sobre las plataformas de fuerza con rodillas en extensión. Un pie en cada plataforma en la parte central de las mismas. Las plataformas permanecen separadas, de manera tal que la posición de los pies permanezca alineada con los hombros. Se solicita una flexión de rodilla hasta los 90° (o hasta donde el atleta se sienta cómodo), lo más rápido posible, para luego inmediatamente y sin pausas efectuar un salto vertical máximo. Los brazos permanecen al costado, con las manos en la cintura. Durante toda la fase de vuelo, el atleta debe mantener sus miembros inferiores y tronco en completa extensión hasta la recepción con la plataforma.

*Protocolo de valoración*

- Realizar calentamiento de 10 minutos en ciclo-ergómetro o trote suave.
- Explicar el procedimiento.
- Realización de la prueba con 3 repeticiones, con una pausa de 30 segundos entre cada repetición.

*Valores Normativos*

Resulta complejo establecer valores normativos, considerando la gran variedad de protocolos existentes en la medición del stiffness, así como la forma de su determinación. Variaciones en la cantidad de saltos y modalidad de estos, frecuencias establecidas, ya sea mediante una frecuencia natural de salto adoptada por el sujeto o mediante una frecuencia predeterminada por el evaluador, por ejemplo multi-saltos submáximos a una frecuencia de 2.2 Hz[160,165], hacen difícil establecer valores que puedan uniformarse a un solo tipo de prueba. Por esta razón, resulta más razonable establecer valores referenciales (ver **Tablas 13, 14 y 15**) que han determinado algunos estudios que definir valores normativos, más aún considerando que el stiffness vertical es dependiente, entre otros factores, del género, masa corporal y niveles de actividad y/o entrenamiento del atleta monitoreado.

**Tabla 13**. Valores de stiffness vertical bilateral en un salto CMJ en diferentes disciplinas[185,185,186].

| Variables | Bailarinas (N=8) Media ± DS | Sedentarias (N=8) Media ± DS | Patinaje Artístico (N=8) Media ± DS | Sedentarias (N=8) Media ± DS | Voleibolistas (N=8) Media ± DS | Sedentarias (N=8) Media ± DS |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Kvert ($kN * m^{-1}$) | 10.0 ± 2.1 | 6.9 ± 2.2 | 5.0 ± 0.7 | 7.4 ± 1.7 | 4.8 ± 1.3 | 6.9 ± 2.2 |
| Kvert normalizado ($kN * m^{-1} \cdot Kg^{-1}$) | 0.18 ± 0.03 | 0.12 ± 0.04 | 0.09 ± 0.01 | 0.13 ± .04 | 0.08 ± 0.01 | 0.12 ± 0.04 |

**Tabla 14**. Valores de stiffness vertical bilateral en un salto CMJ calculado en hombres y mujeres activos[187]

| Variable | Hombre | Mujeres |
|---|---|---|
| Kvert ($kN \cdot s^{-1}$) | 4.68 ± 0.95 | 3.91±1.00 |

**Tabla 15**. Valores stiffness de pierna en las fases de contramovimiento y take-off en un salto vertical[188].

| Fase de salto | K (KN*m) | | |
|---|---|---|---|
| | Extremidad inferior | Extremidad inferior | Total |
| | Derecha | Izquierda | Derecha + Izquierda |
| Contramovimiento | 3.3 ± 0.9 | 3.1 ± 0.7 | 6.5 ± 1.5 |
| Take-Off | 3.5 ± 0.6 | 3.4 ± 0.5 | 6.9 ± 1.0 |

## Valoración del stiffness mediante miotonometría

La valoración de stiffness a través de la miotonometría se realiza a través de un dispositivo manual [Myoton®] que determina el tono muscular, como el stiffness en forma directa. Este dispositivo envía ondas mecánicas al músculo y registra la respuesta en la forma de una señal de aceleración. A partir de esta respuesta muscular a las ondas mecánicas en la forma de aceleración, el Myoton® calcula el valor de la frecuencia, disminución de la misma y el stiffness. En lo referente al stiffness, determina la resistencia del tejido a una fuerza que tiende a deformarlo (Stiffness = N/m). Las oscilaciones medidas, proporcionan la curva de oscilación resultante, con la cual el stiffness es calculado. El dispositivo de registro (Myoton), se caracteriza por contar con una sonda de 3 mm que emite un impulso mecánico breve de 15 ms, a una frecuencia de 1 Hz y a una fuerza de 0.4 N. Esto genera una oscilación natural en los tejidos, en este caso, la unidad músculo tendínea, cuya frecuencia de oscilación transmitida es capturada simultáneamente por un acelerómetro ubicado en el otro extremo de la sonda. El impulso provoca una deformación elástica en los tejidos, provocando una amortiguación natural de las oscilaciones. Para medir los parámetros, la oscilación del tejido debe generarse con un impulso mecánico externo óptimo. Si el impulso es demasiado pequeño y/o el tejido monitoreado tiene poca elasticidad y/o alta rigidez, la oscilación del tejido puede ser insatisfactoria para el cálculo de los parámetros. Para calcular los parámetros, la oscilación del tejido registrado como un gráfico de aceleración debe generarse con al menos dos picos positivos (**Figura 19**).

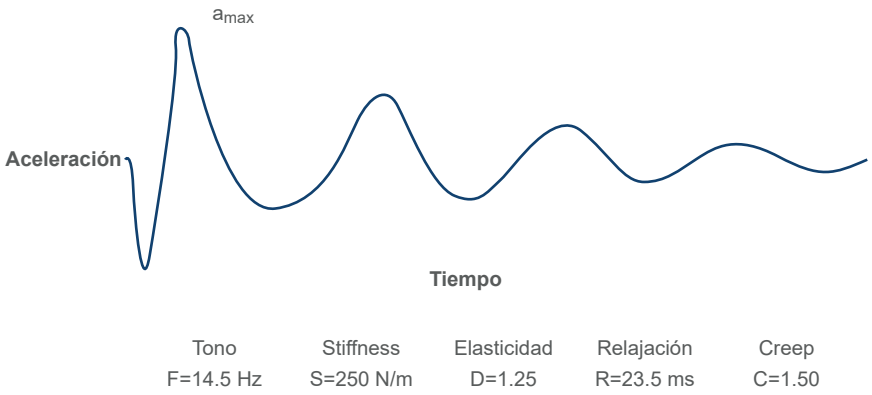



**Figura 19**. Señal mecánica y respuesta del tejido en miotonometría.

Dentro de las ventajas que se describen en el uso de la miotonometría destacan:

- No es operador dependiente y es portátil[144,189].
- Es una prueba indolora.
- Es una prueba objetiva y no-invasiva[190].
- No se requiere estar conectado a un computador para el registro de datos.
- Ha mostrado excelentes niveles de confiabilidad[191-196].
- Ofrece una valoración cuantitativa de los datos mecánicos de los tejidos blandos.

En lo referente a sus limitaciones, se ha señalado que ha demostrado ser dependiente de los puntos de aplicación, por lo que requiere un protocolo estricto que sea reproducible en el tiempo. Otra de sus limitaciones se relaciona con la imposibilidad de ser utilizado en musculatura profunda y también muestra escasa confiabilidad en la medición de músculos de poca masa (<20 g) y músculo demasiados pequeños (<3 mm). Finalmente, no logra medir tejidos catalogados como no-blandos y se debe considerar la cantidad de tejido graso, músculos cubiertos con una importante capa adiposa (>20 mm) dificultan su aplicación.

*Materiales*

Camilla, almohadas o cojines de posicionamiento articular, Myoton®.

*Procedimiento de la valoración*

La mayoría de los protocolos de valoración contemplan la medición de los parámetros a estudiar en el musculo o tendón en condiciones de máxima relajación. En aquellos casos que se monitoree en condiciones de contracción, debe ser claramente especificados y determinado en qué nivel de contracción se realizó la medición. Se deben además considerar condiciones ambientales existentes ya que la falta de control, puede perturbar al atleta monitoreado, impidiendo su relajación (ruidos, luces brillantes, vibraciones, temperaturas extremas). También es importante señalar que es recomendable monitorear a temperatura ambiente entre 15ºC y 30ºC.

La aplicación considera cinco pasos claves:

- Colocar la sonda perpendicular al punto de aplicación con una pre-carga de 1.18 N.
- Liberar en forma rápida y breve (15 ms) un impulso mecánico de 0.3 a 0.4 N.
- Registro de la oscilación generada (200 ms).
- Procesamiento de la señal (10 ms).
- Parametrización computacional (5 ms).

El dispositivo permite la aplicación de un patrón multiscan de 10 impulsos para luego obtener la media del valor obtenido. También se puede crear un patrón de impulsos mecánicos en forma manual y obtener la media de los valores obtenidos. Se recomienda aplicar a los menos 3 set de impulsos mecánicos. La duración del impulso mecánico liberado por la sonda es ajustable tanto vía software como a través del dispositivo, el cual viene configurado con un tiempo de 0.15 ms. Existe un tiempo de intervalo entre cada serie de mediciones, el cual corresponde al tiempo necesario para que el tejido se recupere de la deformación elástica causada por la medición previa. El valor del tiempo de intervalo por defecto es de 0.8 s, pero puede ser modificado

vía software. Independiente de la modalidad utilizada se utiliza como medida de confiabilidad un coeficiente de variación de un 3% (ver **Capítulo 1**). Un coeficiente mayor, implica repetir la prueba. Finalmente, se deben evitar condiciones ambientales que perturben al atleta e impidan su relajación (ruidos, luces brillantes, vibraciones, temperaturas extremas).

## Descripción de la valoración

Como valoración primaria se determinó la medición en dos estructuras tendíneas:

- Tendón de Aquiles (Bilateral).
- Tendón Patelar (Bilateral).

Cabe reiterar que una importante propiedad del tendón es el stiffness, lo cual determina la función del tendón y sus efectos sobre la potencia muscular y la eficiencia en la locomoción. Un nivel óptimo de stiffness es requerido para una óptima función. El stiffness y las propiedades elásticas del tendón afectan su capacidad para retornar a su forma previa después de una deformación y asiste al científico a comprender como el tendón funciona como parte de un sistema kinético. Por ejemplo, una lenta recuperación de la longitud del músculo/tendón puede afectar directamente la transmisión de la fuerza miofascial, generando perdida de energía e ineficiencia[197]. De igual forma se sugiere que un óptimo stiffness de los tejidos ayuda a la prevención de lesiones[140]. Una vez definida la posición del atleta y los puntos de aplicación se realizan las mediciones correspondientes, según las siguientes recomendaciones. La punta de la sonda de medición se coloca perpendicularmente sobre la piel, por encima del tendón (se debe marcar el sitio de registro). Después de aplicar una pre-compresión al tejido subcutáneo (0.18 N), la sonda envía un pulso mecánico electromagnético con una duración de 15 ms y una fuerza aproximada de 0.40 N. Las oscilaciones consecutivas de la piel y del tendón son registradas por el dispositivo por medio de un acelerómetro ubicado en la misma sonda. A partir de la amortiguación en la curva de oscilación sobre 400 ms se calculan cinco parámetros

cuantitativos. Los cinco parámetros describen las características biomecánicas del tejido que proporcionan datos cuantitativos sobre propiedades pasivas del músculo. De nuestro interés es la curva de frecuencia de oscilación de la onda, que representa el tono del tejido en un estado relajado. Cuanto mayor sea el valor, mayor será el tono. El otro parámetro de interés es el stiffness (N/m), el cual representa la capacidad del tejido para resistir fuerzas externas deformantes. Un valor más alto indica un mayor stiffness del tejido.

*Protocolo de la valoración*

**Preparación del atleta**

Explicar al atleta en qué consiste la valoración, objetivos de la misma y procedimiento. Se aconseja evitar cualquier medicamento durante tres horas antes de someterse a una valoración, ya que los medicamentos pueden afectar los resultados de esta. Explicar que el procedimiento de valoración es no invasivo, indoloro, no peligroso y no causa inconveniente (el propósito de la explicación es asegurar que la valoración no genere ansiedad y afecte los niveles de relajación de los tejidos monitoreados). Al igual que otras valoraciones, en lo que respecta al monitoreo a largo plazo, es aconsejable llevar a cabo los procedimientos de medición en aproximadamente la misma hora del día, de modo que el estado físico del sujeto sea similar en todas las sesiones de valoración.

Asegurarse de las siguientes condiciones:

- La posición del atleta le debe permitir estar totalmente relajado. Idealmente en una mesa de masaje.
- El atleta no debe tensar innecesariamente sus músculos, ni cambiar de posición. Debe solo concentrarse en permanecer relajado.
- La ropa y otros artículos no deben estar en contacto con el músculo que se está monitoreando, ya que esto puede restringir la oscilación muscular e influir en los resultados de la valoración.

- El músculo valorado debe permanecer cercano a su longitud de reposo. Se debe evitar que esté muy alargado o en una posición de máximo acortamiento.
- El músculo monitoreado debe reposar sobre un soporte artificial o reposar en su estado natural.
- En caso de valoraciones repetidas, estas se deben tomar en el mismo sitio y con el músculo en la mismas condiciones de longitud (chequear posiciones angulares), para lo cual es fundamental que el atleta permanezca en la misma posición.

*Establecer sitio de medición*

Establecer la ubicación y los contornos del tendón a medir:

**Tendón de Aquiles:** se seleccionan 3 puntos de aplicación[198]. El punto más distal a 6 cm del aspecto plantar del talón, un segundo punto a 4 cm del anterior, y un tercer punto a otros 4 cm. hacia proximal. El atleta deberá permanecer en decúbito prono sobre una camilla, con la pantorrilla descubierta. Limpiar la piel con alcohol o con agua. La rodilla permanece en ligera flexión de 20º y el tobillo en posición neutra. Se recomienda tomar a lo menos tres medidas consecutivas en cada sitio, obteniendo el valor promedio para el análisis.

**Tendón Patelar:** Se selecciona un punto de aplicación a 3 cm del polo inferior de la patela. El atleta deberá permanecer en decúbito supino sobre una camilla con la rodilla descubierta. Limpiar con alcohol o con agua. La rodilla permanece en semi-flexión de 30º. Se recomienda tomar a lo menos tres medidas consecutivas en cada sitio, obteniendo el valor promedio para el análisis.

Asegurarse que los puntos de medición estén marcados simétricamente, al medir los mismos tendones a cada lado del cuerpo. Verificar antes de la valoración por medio de la palpación y preguntas al atleta, si el músculo a monitorear está totalmente relajado.

*Requerimientos para la valoración*

Las características físicas de los impulsos mecánicos son idénticas para todas las mediciones: tiempo de golpe 15 ms / intervalo 0.8 s / diámetro sonda 3 mm. Solo la sonda entra en contacto físico con la piel. La sonda siempre se ubica perpendicularmente a la superficie de la piel, directamente sobre el tejido a medir. El dispositivo se debe mantener lo más estable posible en el sitio de medición. Cuando esto ocurre:

- Observar el marcador verde de la sonda de medición
- Una luz verde se encenderá en la abertura de la sonda
- "Mantener la posición" será indicado en la pantalla del dispositivo.

Toda la serie de valoraciones se realiza en el mismo punto de medición. En el momento de liberar el impulso mecánico, la sonda no debe deslizarse de lado sobre la piel. La mano del operador que sostiene el dispositivo debe estar en una posición cómoda y estable, que asegure la mantención de las mediciones el tiempo que dure la valoración. Durante la serie de mediciones, el dispositivo debe ser mantenido suavemente sin contenerlo con demasiada fuerza. Durante la serie de mediciones el operador solo debe concentrase en la sonda, manteniendo la posición de medición inalterable. Como se señaló previamente, la calidad de la valoración será comprobada mediante el coeficiente de variación, el cual no debe superar el 3%. Cuando existan interferencias en la co-oscilación, los siguientes avisos serán desplegados en la pantalla:

- Dato de medición inválido.
- Deformación plástica detectada.
- Salto de la sonda detectado.
- Excesivo ruido detectado.

*Valores Normativos*

Como ya se señaló en la descripción de la prueba de valoración de stiffness mediante un salto vertical, resulta complejo establecer valores normativos, considerando la variedad de factores que intervienen en el tono y propiedades viscoelásticas. La mayoría de las valoraciones son solo auto referenciales para el sujeto en estudio, y buscan establecer

valores de simetría o variaciones en un antes y después, los cuales se manifiestan en forma individual y son propias del sujeto en cuestión. A continuación, se establecen parámetros referenciales (**Tabla 16**), y posteriormente se muestran una serie de datos obtenidos de diferentes estudios revisados (**Tabla 17**), los que establecen valores alcanzados con la miotonometría y que en ocasiones pueden asociarse a ciertas disciplinas deportivas. De igual forma, se establecen índices de simetría, así como relaciones esperables entre grupos musculares antagonistas.

**Tabla 16**. Valores referenciales de tono y stiffness según recomendaciones del fabricante (Myoton®).

| Parámetros | Valores Referenciales |
|---|---|
| Tono (F) | 12.0 a 18.0 (Hz) |
| Stifness (S) | 220 a 380 (N/m) |

**Tabla 17**. Valores referenciales de tono y stiffness según diferentes estudios realizados [16,199-202].

| Parámetros | Músculo | Condición | Valor | Autor | Deporte |
|---|---|---|---|---|---|
| Tono (Hz) | Tendón Patelar | Relajado | 20.4 ± 4.1 | Bravo-Sánchez et al. (n=16) | Bádminton |
| Tono (HZ) | Tendón Aquiles | Relajado | 29.8 ± 2.0 | Bravo-Sánchez et al. (n=16) | Bádminton |
| Tono (Hz) | Tendón Aquiles | Relajado | 35.3 ± 3.0 | Orner S. et al (n=207) | Universitarios |
| Stiffness (N/m) | Tendón Aquiles | Relajado | 751.6 ±123.5 | Pożarowszczyk B. et al. (n=11) | Karate |
| Stiffness (N/m) | Tendón Aquiles | Relajado | 750.0 ± 71.4 | Bravo-Sánchez et al. (n=16) | Bádminton |
| Stiffness (N/m) | Tendón Aquiles | Relajado | 847.3 ± 101.5 | Orner S. et al (n=207) | Universitarios |
| Stiffness (N/m) | Tendón Aquiles | Relajado | 1107.0 ± 117.5 | Cristi-Sánchez et al. (n=17) | Fútbol |
| Stiffness (N/m) | Tendón Aquiles | Relajado | 808.3 ± 82.8 | Li et al. (n=10) | Sedentarios |
| Stiffness (N/m) | Tendón Patelar | Relajado | 515.1 ±180.5 | Bravo-Sánchez et al. (n=16) | Bádminton |
| Stiffness (N/m) | Tendón Patelar | Relajado | 1143 ± 241.3 | Cristi-Sánchez et al. (n=17) | Fútbol |

*Niveles de simetrías*

Estudios en hombres jóvenes y sanos con niveles bajos o moderados de actividad física han demostrado que la relación relativa entre el stiffness de los músculos del muslo anterior y posterior es aproximadamente 1: 1. Se encontró que si una asimetría asciende a un 15% aumenta el riesgo

de lesiones. En otros estudios, la asimetría en el stiffness muscular fue del 6%, lo que indicaría que parámetros de stiffness que ascienden por sobre un 10% de asimetría pueden ser evidencia de anormalidades en el músculo. Otra investigación ha confirmado que la asimetría de stiffness muscular para el cuádriceps no es alto, y que las diferencias entre las extremidades dominantes y no dominantes asciende aproximadamente el 2.5% para todos los parámetros musculares.

## Valoraciones Secundarias

Las valoraciones secundarias (**Figura 20**) en el Área de Biomecánica Deportiva corresponden a un conjunto de valoraciones de nivel superior sobre el cual se desarrollan los estudios de biomecánica en los atletas de alto rendimiento en Chile. Estas valoraciones exigen como insumo que los atletas deben demostrar valores aceptables (criterios de rendimiento, **Capítulo 1**) en las valoraciones primarias (fuerza, flexibilidad, velocidad, control postural, stiffness), las cuales representen el nivel deportivo alcanzado y aseguran una disminución relevante en la vulnerabilidad de lesionarse en aspectos biomecánicos. Las valoraciones secundarias tienen como principal objetivo el rendimiento de los atletas, siendo esta la estrategia más elevada en el monitoreo de los atletas en biomecánica deportiva. Estas valoraciones presentan como objeto de estudio la técnica deportiva y utilizan las valoraciones primarias como insumos para una buena ejecución técnica. Las valoraciones secundarias utilizan todos los equipamientos que busquen analizar la técnica deportiva en su ejecución en aspectos de cinemática, cinética y electromiografía.

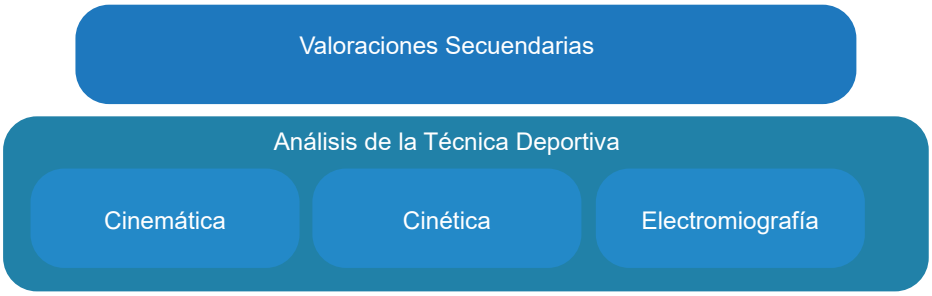



**Figura 20**. Valoraciones Secundarias Área Biomecánica Deportiva UCAD.

En biomecánica deportiva generalmente miden cualidades y capacidades de atletas, las cuales están sujetas a cierta variabilidad, a diferencia de propiedades físicas las cuales son conocidas como constantes. Por tanto, cuando medimos la fuerza máxima, el patrón de carrera, la longitud de zancada, la actividad electromiográfica o la flexibilidad, debemos tener en cuenta que existirá cierta variabilidad. Esta variabilidad de los atletas debemos ser capaces de interpretarla correctamente y aislarla de los posibles errores de la medición. Junto con lo anterior, algunos protocolos y formas de obtener los resultados cambiarán en función de obtener algo único y excepcional (el máximo rendimiento), como por ejemplo la máxima fuerza en el test, o que sea medir algo representativo o repetitivo (patrón de identidad de cada persona), como por ejemplo la cinemática del pedaleo, la velocidad en distintos tramos de la carrera o la forma de patinar[203].

## Análisis de Movimiento en la Técnica Deportiva

Los modelos motores humanos corresponden a esquemas de movimiento heredados y a diferencia de los reflejos son modificables. La mayor parte de ellos se han evidenciado alrededor de los 6 o 7 años de edad y sus combinaciones forman el bagaje motor con que el ser humano debe satisfacer sus necesidades. También, su combinación crea esquemas complejos de movimiento a los cuales se les llama “técnicas deportivas”, que no son otra cosa que modificaciones a nivel articular y muscular de estos modelos. Estas técnicas deportivas presentan variaciones en cuanto a su clasificación para el análisis, destacando la propuesta taxonómica en la que se agrupan las modalidades deportivas atendiendo a factores de orientación y finalidad de las acciones motrices que en ellas se ejecutan[5] (**Figura 21**):

**A) Modalidades deportivas orientadas al resultado de la ejecución de los movimientos:** dentro de este grupo se incluyen diversidad de disciplinas en las que la técnica (y en su caso también la táctica) representa un medio encaminado a la consecución de un fin (saltar más alto, correr más rápido, conseguir un mayor número de canastas, superar

la oposición del adversario, entre otros); tanto en las modalidades con escasos requerimientos tácticos (atletismo, natación) como en los deportes con elevadas solicitaciones tácticas (balonmano y fútbol), los elementos técnicos aparecen en estrecha combinación con los factores físicos y/o tácticos, con una orientación específica hacia el resultado final de las acciones, ofreciendo mayores posibilidades de manifestación del estilo y adaptaciones individuales de las acciones. En todas estas disciplinas se aborda el estudio de la técnica desde una óptica centrada en el resultado alcanzado asumiendo que un movimiento se considera técnicamente eficaz si permite al atleta obtener los más elevados rendimientos.

**B) Modalidades deportivas orientadas al proceso de ejecución de los movimientos:** en este bloque se integran las disciplinas que presentan elevadas solicitaciones técnicas, debido a que el rendimiento en ellas viene directamente condicionado por la calidad de ejecución de los movimientos (perfeccionamiento y dificultad de las acciones) en función de unos modelos ideales prefijados, por lo que la técnica adquiere una finalidad en sí misma. Como ejemplos más destacados de modalidades orientadas al proceso de ejecución podemos señalar la natación sincronizada, saltos de trampolín, gimnasia o patinaje artístico. En este grupo de disciplinas el resultado final de las competiciones viene marcado por el grado de "refinamiento" que alcanza el atleta en sus acciones; un jurado valora y puntúa el nivel de aproximación de los movimientos del atleta respecto a unos cánones establecidos, por lo que la corrección de la propia ejecución es el fin último que persigue, ya que en este tipo de modalidades es posible identificar una correspondencia directa técnica-resultado.

**C) Modalidades deportivas con orientación mixta:** este bloque engloba un número reducido de deportes en los que el rendimiento viene condicionado tanto por la calidad y adecuación de los movimientos a unos estereotipos como por los resultados con ellos alcanzados, por lo que combina la orientación de la técnica tanto a la propia ejecución como al resultado; este sería el caso de los saltos de esquí o la modalidad de "baches" en esquí, en los que el resultado final

de las competencias viene dado por una media ponderada entre la distancia de vuelo alcanzada (técnica orientada al resultado) y la puntuación de los jueces sobre la corrección o el grado de perfección en la ejecución de los movimientos del saltador (técnica orientada al proceso).

Estos conocimientos tienen mucha aplicación en el campo de la actividad física para las valoraciones motrices como también en el mundo del deporte, desarrollando valoraciones en las técnicas de ejecución.

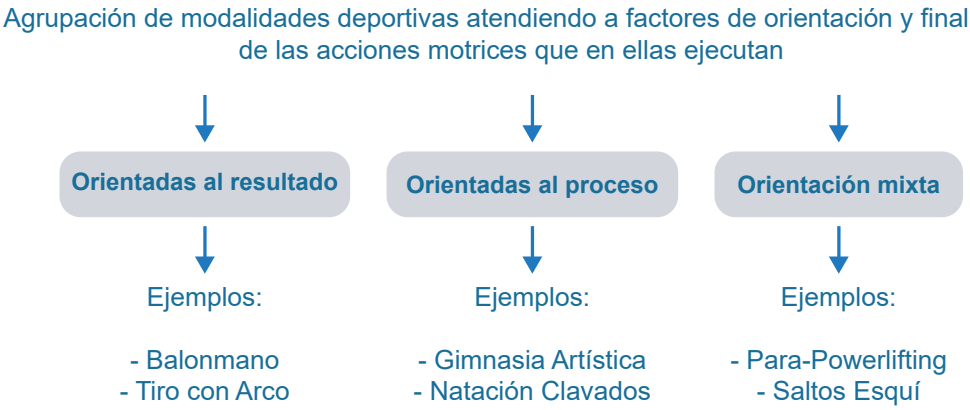



**Figura 21**. Tipos de deportes acorde a factores de orientación y finalidad de las acciones motrices que en ellas se ejecutan[5].

*Objetivos y Propósitos de las Técnicas Deportivas*

Cualquier técnica deportiva que se valore como tal, debe poseer una tarea motora u objetivo deportivo[204] que se ejecuta como una secuencia lógica establecida de movimientos en función del reglamento y las experiencias prácticas (racionalidad), en búsqueda del objetivo deportivo (eficacia) y con un menor gasto energético (eficiencia). La tarea motora u objetivo deportivo actualmente se denomina Objetivo General de Rendimiento (OGR), por consecuencia cada técnica deportiva posee únicamente un solo OGR[5]. Cada técnica deportiva se divide en fases y cada una de estas posee sus respectivos propósitos mecánicos

(PM). Los últimos hacen referencia a la gran característica mecánicas a conseguir en la cada fase[205]. Estos PM de forma frecuente se encuentran escritos en la descripción de la fase en cada técnica deportiva y se logran encontrar fácilmente pues se escriben como "superlativo + aspecto mecánico + complemento", por ejemplo: "Aumento (superlativo) de la velocidad (aspecto mecánico) en las dos últimas zancadas (complemento)" (**Figura 22**).

| Arranque | Despegue | Aterrizaje |
|---|---|---|
| El atleta inicia la carrera **aumentando la velocidad en las dos últimas zancadas.** | Se impulsa lejos del punto de salida agitando piernas y brazos **para imprimir más potencia al salto.** | Piernas y brazos se extienden completamente hacia el **frente para aumentar la distancia.** |

**Figura 22**. Ejemplo de propósitos mecánicos en las técnicas deportivas.

En cada PM es necesario obtener los indicadores biomecánicos (IB), también denominados objetivos biomecánicos (OB), estos corresponden a todos los indicadores cinemáticos (ICm) e indicadores cinéticos (ICn) derivados del PM. Los ICm deben ser aspectos monitoreables por la biomecánica del deporte, enfatizado en el estudio del movimiento, con independencia de las causas que podrían modificarlo[206], mientras que los ICn corresponden a los aspectos monitoreables evidenciando las fuerzas que lo provocan (**Figura 23**).

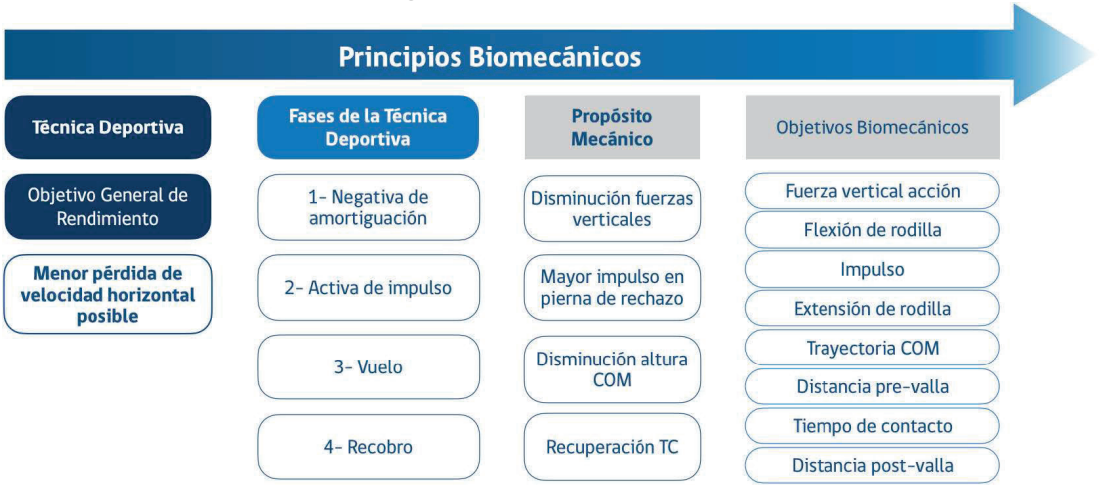



**Figura 23**. Ejemplo de OGR, PM y OB en técnica de paso valla.

Cuando se presenta claridad y coherencia en la construcción de indicadores biomecánicos es posible generar protocolos de experimentos adecuados y exactos al atleta y su valoración. En la actualidad se han implementado objetivos biomecánicos en algunos deportes desde el Área de Biomecánica Deportiva de la UCAD[205,207–209].

*Medios de análisis de movimiento en deporte*

Para registrar los indicadores biomecánicos se debe seleccionar el método de valoración más pertinente acorde a los objetivos propuestos[205]. Actualmente existen algunas técnicas e instrumentación en la captura y análisis del movimiento enfocados en instrumentación cinemática, cinética y electromiográfica.

*Sistemas de captura de movimientos con marcadores: instrumentación cinemática*

Actualmente existe variados sistemas de captura de movimientos (mocap), haciendo referencia aquellas técnicas de grabación de movimientos del cuerpo humano que capturan datos espacio-temporales y se representan digitalmente, donde existen sistemas de medidas inerciales (IMU), sistemas magnéticos y sistemas ópticos sin marcadores y con marcadores. Estos últimos Mocap ópticos con marcadores en la actualidad son los más validados y confiables. pero los más validados y confiables son aquellos sistemas que utilizan marcadores en la estructura humana. Las empresas que desarrollan este tipo de tecnologías en el mundo son variadas y tras cierto tiempo aparecen algunas empresas nuevas, pero entre las que resaltan se encuentra: VICON®, QUALISYS®, CONTEMPLAS®, BTS® y OPTITRACK®. Todas estas empresas desarrollan el modelo con marcadores en la estructura del cuerpo humano teniendo algunas características relevantes y homólogas entre ellas.

*Modelos Biomecánicos*

Los modelos biomecánicos corresponden a la localización que tienen los marcadores dentro del cuerpo humano para una futura representación

cinemática del cuerpo. Existen distintos modelos biomecánicos que son utilizados como el modelo de Nawington[210,211], de Dawson, Servizio di Analisi della Funzione Locomotoria[212] y el modelo Calibration Anatomical System Technique[213] entre otros. El modelo de Plug-in-Gait es uno de los más utilizados actualmente[214] (**Figura 24**).

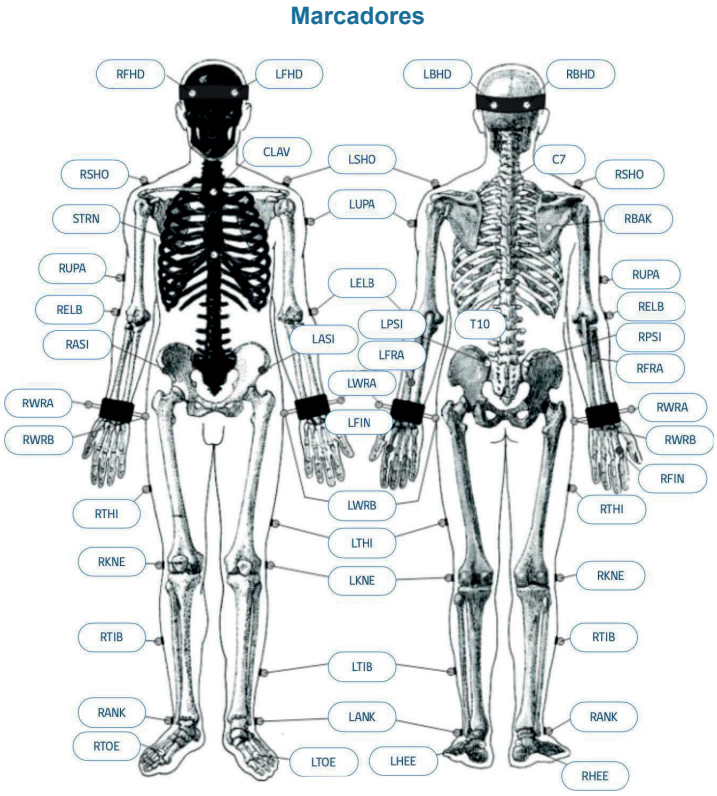



**Figura 24**. Modelo Biomecánico Plug-in-Gate (Adaptado de Winters y cols. 2012)[215].

*Marcadores de cabeza*

| | |
|---|---|
| LFHD | Se localiza aproximadamente sobre la parte izquierda de la frente. |
| RFHD | Se localiza aproximadamente sobre la parte derecha de la frente. |
| LBHD | Colocarlos en la parte posterior de la cabeza, aproximadamente en la misma línea del marcador frontal anterior izquierdo de la cabeza. |
| RBHD | Colocarlos en la parte posterior de la cabeza, aproximadamente en la misma línea del marcador frontal anterior (derecho de la cabeza). |

## *Marcadores del torso*

| | |
|---|---|
| C7 | Apófisis espinosa de la 7ma vértebra cervical. |
| T10 | Apófisis espinosa de la 10ma vértebra torácica. |
| CLAV | Punto donde la clavícula articula con el esternón (manubrio del esternón). |
| STRN | Apófisis xifoides del esternón. |
| RBAK | Zona media de la escapula derecha. Este marcador no se encuentra en el lado izquierdo para ser diferenciado del otro hemicuerpo del sujeto. |

## *Marcadores del miembro superior*

| | |
|---|---|
| LSHO | Articulación acromioclavicular izquierda. |
| RSHO | Articulación acromioclavicular derecha. |
| LUPA | Ubicado en la mitad superior del brazo. Debe colocarse asimétricamente con el marcador RUPA. |
| RUPA | Ubicado en la mitad inferior del brazo. Debe colocarse asimétricamente con el marcador LUPA |
| LELB | Epicóndilo lateral del codo izquierdo. |
| RELB | Epicóndilo lateral del codo derecho. |
| LFRA | Ubicado en la mitad inferior del antebrazo. Debe quedar asimétricamente con el marcador RFRA. |
| RFRA | Ubicado en la mitad superior del antebrazo. Debe quedar asimétricamente con el marcador LFRA. |
| LWRA | Ubicado en la apófisis estiloides del radio izquierdo. |
| LWRB | Ubicado en la apófisis estiloides del cubito izquierdo. |
| RWRA | Ubicado en la apófisis estiloides del radio derecho. |
| RWRB | Ubicado en la apófisis estiloides del cubito derecho. |
| LFIN | Ubicado en el dorso de la mano izquierda, justo debajo de la cabeza del segundo metacarpiano. |
| RFIN | Ubicado en el dorso de la mano derecha, justo debajo de la cabeza del segundo metacarpiano. |

### *Marcadores de la pelvis*

| | |
|---|---|
| LASI | Ubicado directamente en la espina Iliaca antero superior izquierda. |
| RASI | Ubicado directamente en la espina Iliaca antero superior derecha. |
| LPSI | Ubicado directamente sobre la espina iliaca postero superior izquierda. |
| RPSI | Ubicado directamente sobre la espina iliaca postero superior derecha. |

### *Marcadores del miembro inferior*

| | |
|---|---|
| LKNE | Ubicado en el epicóndilo lateral de la rodilla izquierda. |
| RKNE | Ubicado en el epicóndilo lateral de la rodilla derecha. |
| LTHI | Ubicado en la superficie lateral del tercio inferior del muslo. |
| RTHI | Ubicado en la superficie lateral del tercio superior o mitad del muslo |
| LTIB | Ubicado en la superficie lateral sobre la mitad inferior de la tibia. |
| RTIB | Ubicado en la superficie lateral sobre la mitad superior de la tibia. |
| LANK | Ubicado en el maléolo peroneo en la línea imaginaria transmaleolar. |
| RANK | Ubicado en el maléolo tibial en la línea imaginaria transmaleolar. |
| LTIB | Ubicado sobre el tercio inferior de la tibia. |
| RTIB | Ubicado sobre el tercio superior de la tibia. |
| LTOE | Ubicado sobre la cabeza del segundo metatarsiano del pie izquierdo. |
| RTOE | Ubicado sobre la cabeza del segundo metatarsiano del pie derecho. |
| LHEE | Ubicado a nivel de la superficie plantar, en el hueso calcáneo izquierdo (talón). |
| RHEE | Ubicado a nivel de la superficie plantar, en el hueso calcáneo derecho (talón). |

### *Volumen y área de captura*

El volumen corresponde a la cantidad de espacio que utilizará la persona o atleta en la ejecución de la técnica deportiva, gesto técnico o habilidad. El espacio medido en longitud, ancho y altura determinado debe ser concordante entre la ejecución de la técnica deportiva y el volumen determinado por los investigadores, técnicos o biomecánicos.

En el interior del volumen y área debe existir una medida de referencia, generalmente 1 metro, que se utiliza como escala para el procesamiento de datos espacio-temporales, esta puede variar en sistemas 2D o 3D en su manera de interpretarse (**Figura 25**).

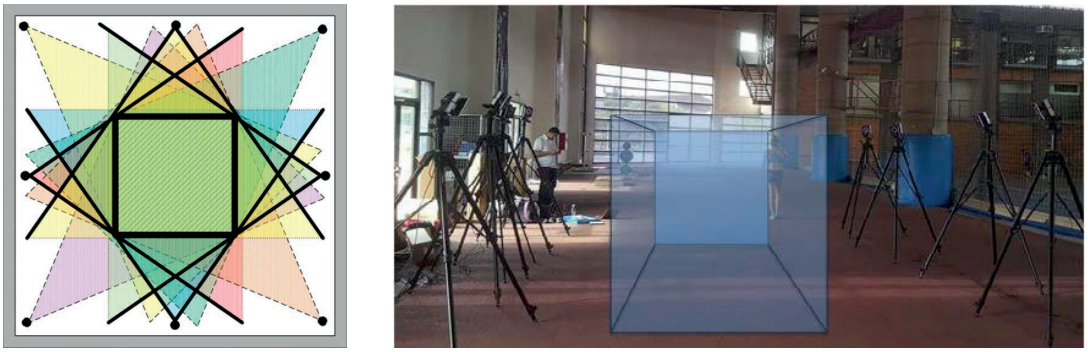


**Figura 25**. Volumen y área de captura Biomecánica Deportiva UCAD

*Cámaras*

*Velocidad de Captura*

La velocidad de captura de las cámaras determina la frecuencia de fotogramas con que se registrará el gesto o técnica deportiva, la cual regularmente se encuentra con siglas FPS (de frames per second). Esta velocidad de captura se encuentra fuertemente ligada a algunos aspectos técnicos de las cámaras utilizadas. En cámaras fotográficas o de video utilizadas comúnmente en sistemas 2D, el aumento de velocidad afecta negativamente la calidad de la imagen, sin embargo, los sistemas 3D integran cámaras propias que no presentan esta situación.

*Resolución de la imagen*

Técnicamente corresponde a la calidad de la imagen con la cual que se obtiene la captura, la cual se valora en los megapíxeles. Su principal contribución detalla en la nitidez y precisión con que se obtienen los marcadores del modelo biomecánico utilizado (**Figura 26**).

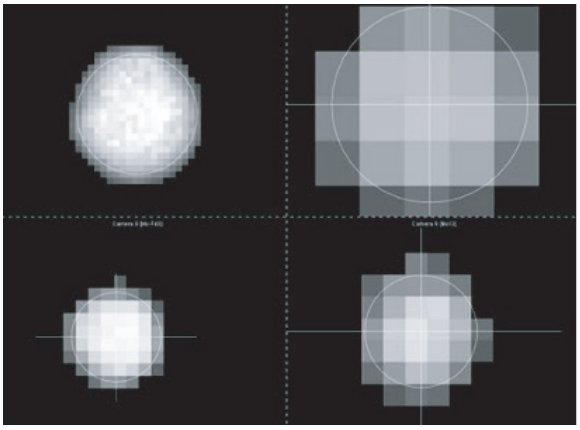


**Figura 26**. Resolución imagen marcadores desde 1MP a 16MP.

*Software de procesamiento libre*

Actualmente existen software de procesamiento libre y de rápido acceso para cualquier usuario que desee obtener valoraciones objetivas, respetando los protocolos descritos en sus atletas o sujetos. Los software de acceso libre en 2D y 3D más conocido son KINOVEA®, SKILLSPECTOR® y BIOSOFT®, los cuales entregan variables cinemáticas del movimiento[216].

*Software de procesamiento de pago*

Actualmente existen software de procesamiento de pago que corresponden a sistemas 3D donde muchos de estos disponen de software propios (VICON®) o compartidos entre los diversos sistemas de captura de movimiento (Optitrack®, Qualisys®, BTS®).

## Electromiografía en la Técnica Deportiva

La electromiografía es una herramienta que permite obtener información valiosa de la actividad neuromuscular[217], siendo básicamente un registro de la actividad eléctrica evocada en el músculo cuando es activado por el sistema nervioso central para realizar una contracción[218], este fenómeno es llamado potencial de activación muscular, generando una despolarización de la membrana en la fibra

muscular que trasciende a lo largo de ella produciendo una onda de despolarización que puede ser detectada y registrada por los electrodos de EMG. En dos sistemas de electrodos sobre el sitio del músculo, la onda del potencial de acción de la unidad motora (PAUM) es representada en un potencial trifásico el cuál es diferente al potencial entre Polo A y Polo B (**Figura 27**). Una vez que el potencial de acción alcanza una fibra muscular, se propaga proximal y distalmente a una velocidad de 2-6 m/s[219]. Un PAUM es la sumatoria espacio temporal de más PAUM por una unidad motora, por tanto el registro de EMG es la suma lineal, espacial y temporal de los PAUM que se generan en una contracción muscular[217]. El orden del reclutamiento de la unidades motoras es de acuerdo al tamaño[220], donde las pequeñas se activan primero y las grandes se activan posteriormente .

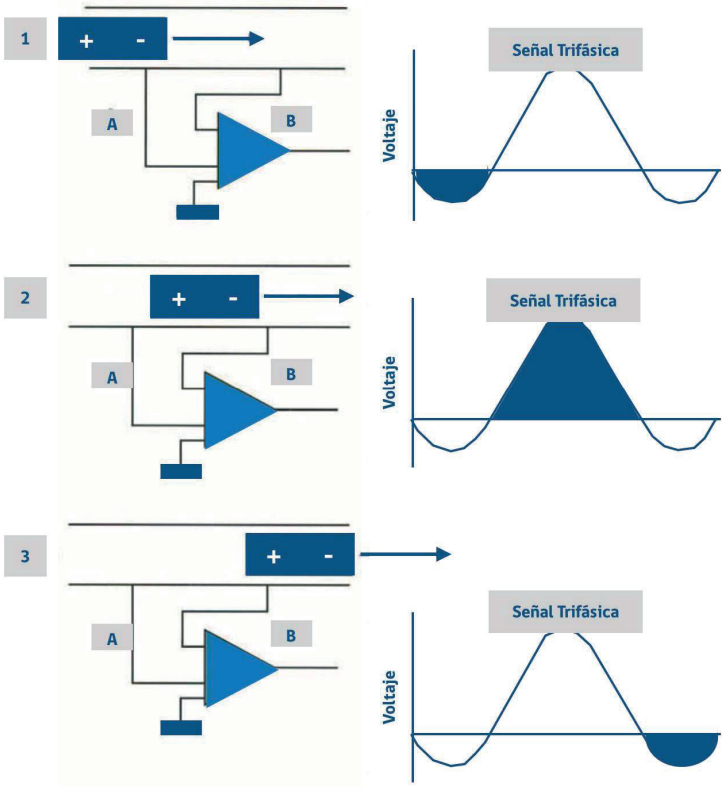



**Figura 27**. Esquema representativo de despolarización de membrana registrada por electrodos (Adaptado de Lamontage 2001)[221].

En la técnica deportiva debido a sus características dinámicas, que generalmente incluyen saltos o carreras, se utiliza la electromiografía

de superficie (EMGs) la cual capta la actividad eléctrica a través electrodos ubicados en el vientre muscular, representando en la actualidad una herramienta utilizada de manera frecuente en el estudio de la técnica deportiva[222]. Se recomienda, previo a cualquier estudio electromiográfico, que este modelo de valoración, referente a variables y formas de análisis, presente una relación directa con los indicadores biomecánicos que se desean evaluar en la técnica deportiva[205,207].

*Características de la señal de EMGs*

La EMG como señal representa un proceso estocástico (i.e., proceso intrínsecamente no determinístico, que permite caracterizar una sucesión de variables aleatorias que evolucionan en función de otra variable, generalmente el tiempo) y se puede describir con métodos basados en la teoría de probabilidades y parámetros estadísticos[206], pero esta señal de EMG presenta ciertas características de parámetros y dominios en su origen, en aspectos de amplitud esta tiene como máximos peak to peak 10 mV y en raíz media cuadrática (RMS) 1.5 mV, mientras que en aspectos de frecuencia de la señal de EMG esta se registra en rangos de 20–500 Hz y con un dominio de 50–150 Hz[223].

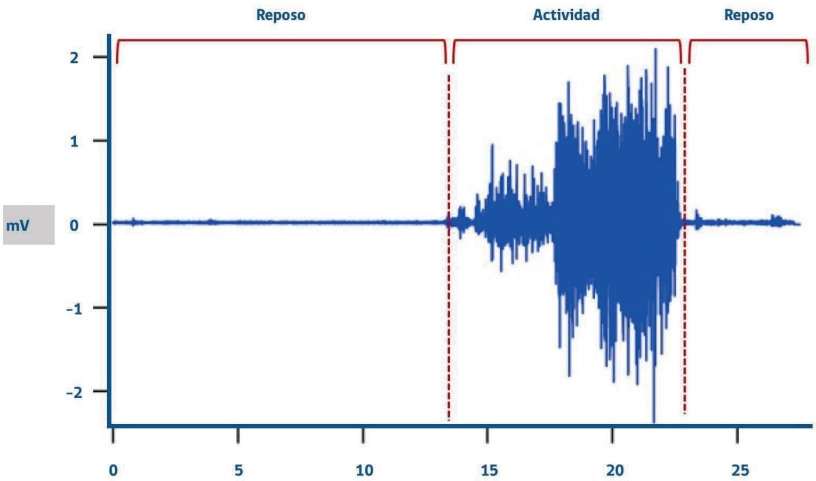



**Figura 28**. Señal EMGs con hitos de reposo y actividad (datos UCAD).

Esta técnica de valoración neuromuscular de EMG presenta algunas elementos relevantes en su utilización y un mal manejo podría

contribuir al ruido aleatorio de la señal como factores fisiológicos, factores físicos y factores eléctricos[224]. A modo de introducir al lector en el uso de EMGs, las características más relevantes para su manipulación son: preparación de la piel, ubicación de los electrodos y análisis de los registros.

*Preparación de la piel*

La piel presenta la propiedad de conducir electricidad, pero se hace más complejo obtener un registro optimo de la señal, debido a células muertas, suciedad, sudor, exceso de grasa y vellosidades, esto se conoce como impedancia, generando un grado de resistencia a la electricidad entre el espacio piel-electrodo, por esta razón es esencial remover el vello y limpiar la superficie, donde el más utilizado es el alcohol, para posteriormente ubicar los electrodos. Las etapas descritas en la literatura mencionan; a) depilar la zona con rasuradora y eliminar todo el vello presente, b) limpiar con alcohol, pasta abrasiva o lija suave hasta que la piel quede de color rojizo[224], aunque por lo general el paso "b" solo utiliza alcohol.

*Ubicación de los electrodos*

Interpretar las consideraciones estructurales de la fibra muscular[225] es clave para realizar una adecuada valoración de EMGs, por tanto, la calidad del registro de la señal de EMGs dependerá de la ubicación de los electrodos; y la información obtenida será de aquellas fibras que queden entre la interfaz electrodo-piel[222]. En los estudios dinámicos, se recomienda ubicarlos entre la inserción del tendón y el punto motor o entre dos puntos motores y a lo largo de la línea media longitudinal del vientre muscular[223]. No se recomienda ubicarlos en el punto motor, ya que es un sector de gran densidad neural lo cual puede interferir en la señal real y entregar información poco fiable. En la actualidad existe un consenso europeo y adoptado prácticamente de manera global a través de la *Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles* y en la pagina web (www.seniam.org)[226].

*Análisis de los registros electromiográficos*

Actualmente el modelo de análisis seleccionado tiene relación con el objetivo de la valoración, ya que los análisis en EMGs, se dividen en análisis de tiempo o amplitud y análisis de frecuencia[224] ambos de caracteristicas lineales[227]. Los análisis de tiempo/amplitud resuelven preguntas de ¿Cuándo se encendió o apago el músculo?, ¿Cuánto tiempo tardó hasta el pico de la señal de EMG?, ¿Qué tan activo está el músculo?, ¿Cuál es la secuencia de activación muscular?, ¿Cuál es la secuencia de desactivación? entre otras preguntas. De la señal en bruto para este análisis comúnmente se realizan algunas acciones de filtrado previas como: la rectificación de la señal, es decir, hacer positivos todos los valores, el filtrado de la señal rectificada con un filtro paso bajo o paso alto de envolvimiento lineal y la integración de la señal rectificada para un intervalo determinado que puede ser todo el tiempo de contracción muscular o intervalos fijos de 40 – 200 milisegundos. Posteriormente, podrían realizarse algunos filtros de suavizados en dependencias de la variable que se desee utilizar, de las variables más utilizadas para presentar resultados en estos análisis está el tiempo de actividad de EMG o timing muscular, la media de la señal de EMG, el peak de la señal de EMG, el área bajo la curva de la señal EMG (EMGi) y la raíz media cuadrática de la señal de EMG ($EMG_{RMS}$)[224]. No obstante, estos valores requieres ser normalizados para que puedan ser comparables en el mismo sujeto o con otros[203], aunque no existe un criterio único para su normalización. En deportes se recomienda utilizar el pico de la misma señal o de alguna tarea similar[228,229] a diferencia del aspecto clínico donde la contracción voluntaria máxima isométrica es la más utilizada[219]. Se plantea que en atletas de alto rendimiento solicitar una contracción voluntaria máxima isométrica, previo a la técnica a valorar, podría generar efectos de potenciación post-activación[230,231] y hacer poco fiables los resultados. Los análisis de frecuencia utilizan una técnica de segregación de las frecuencias que componen la señal de EMGs[223], determinando las frecuencias predominantes, un descenso progresivo en la frecuencia (media o mediana) de una tarea en condiciones isométricas a sido relacionada con la fatiga neuromuscular[223,224], en la curva de frecuencias vs tiempo[232], el cálculo

de pendiente desarrollada por el descenso de las frecuencias se ha utilizado para obtener este índice de fatiga[223,224,233].

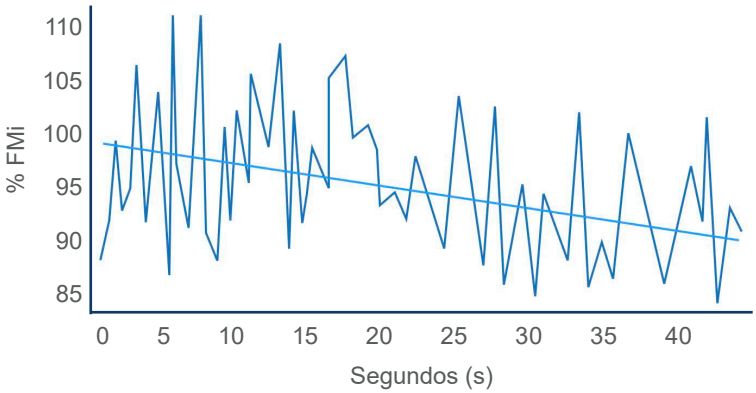



**Figura 29**. Análisis de frecuencia en contracción isométrica y pendiente de fatiga (datos propios UCAD).

A modo de ejemplo en un deporte como el ciclismo, uno de los indicadores más relevantes es el tiempo en que la musculatura que participa se encuentra encendida durante el ciclo de pedaleo en las distintas fases[208,234]. Para una correcta implementación del análisis es importante determinar los músculos que se registrarán electromiográficamente. Para ello, algunas propuestas utilizan: glúteo mayor, aductor largo, vasto medial, vasto lateral, recto anterior del cuádriceps, bíceps femoral, gastrocnemio medial y tibial anterior[235]

**Figura 30**. Localización de electrodos EMGs en ciclismo (datos propios UCAD).

Estos registros EMGs se realizan a distintas intensidades de entrenamiento, las cuales en este deporte se controlan idealmente en watts, ya que una variación de tiempo en que la musculatura participa

determinará un incremento o descenso en el gasto energético de los atletas.

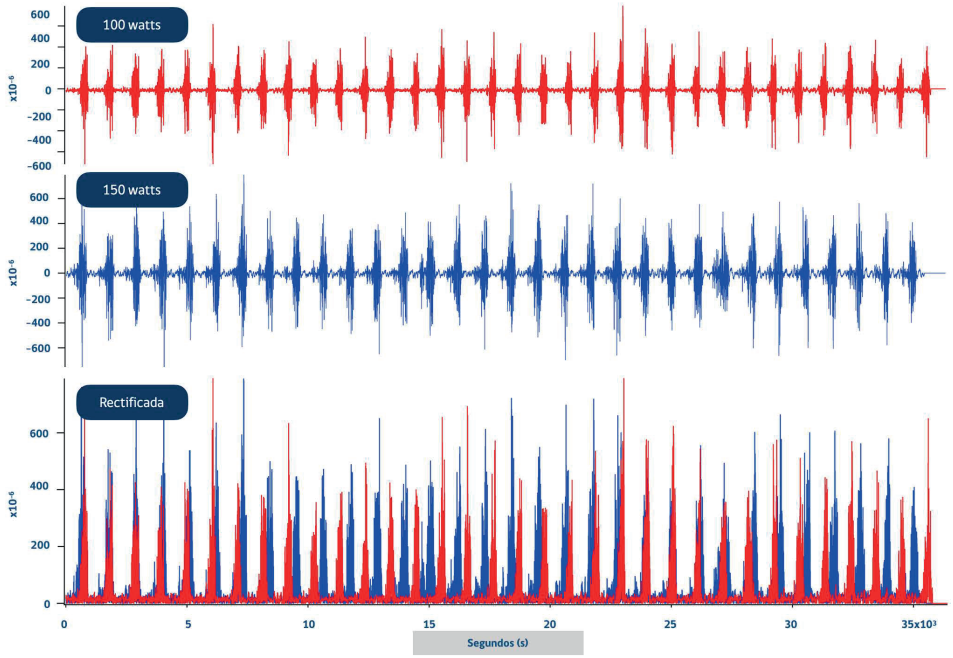



**Figura 31**. Actividad EMGs en un atleta de ciclismo, en intensidades de 100 y 150 watts, y señal rectificada de EMGs en el vasto medial, registrando 30s de cada actividad.

En la **Figura 31** se presenta un análisis en dominio del tiempo, describiendo timing muscular del vasto medial en dos intensidades de ciclismo. El atleta, en una intensidad de 100 watts, manifiesta un tiempo de trabajo muscular medio de 0.2325 s, mientras que, al desarrollar 150 watts, expresa un tiempo de trabajo muscular medio de 0.2815 s, lo que expresa un incremento de tiempo en trabajo muscular de un 21.07 %.

Esperamos que estos breves aportes desde las valoraciones secundarias que se realizan en el laboratorio de biomecánica deportiva de la UCAD, logren ser un incentivo al proceso de entrenamiento de los atletas en la obtención de rendimientos y resultados esperados, junto con lo anterior deseamos expresar nuestro alto nivel de compromiso con nuestros atletas de los biomecánicos de la UCAD; Christopher Moya-Jofre, Mauricio Araya-Ibacache, Alejandro Bustamante-Garrido y Esteban Aedo-Muñoz, junto a los que ya aportaron en tiempos pasados en el laboratorio.

# Referencias

**1.** Naglak, Z. Entrenamiento deportivo: teoría y práctica. (INEF, 1980).
**2.** Matveev, L. P. Fundamentos del entrenamiento deportivo. (Raduga, 1985).
**3.** Bayer, C. & Fábregas, M. La enseñanza de los juegos deportivos colectivos: baloncesto, fútbol, balonmano, hockey sobre hierba y sobre hielo, rugby, balonvolea, waterpolo. (Hispano Europea, 1992).
**4.** Dietrich, M., Lehnertz, K. & Klaus, C. Manual de metodología del entrenamiento deportivo. (2021).
**5.** Izquierdo, M. Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte. (Editorial Médica Panamericana, 2008).
**6.** Aedo-Muñoz, E. & Bustamante-Garrido, A. Conceptualización de la Biomecánica Deportiva y de la Educación Física. Educ. Física Chile 270, 63-68 (2012).
**7.** Bangsbo, J. Performance in sports--With specific emphasis on the effect of intensified training. Scand. J. Med. Sci. Sports 25 Suppl 4, 88-99 (2015).
**8.** Nicholas, S. J. & Tyler, T. F. Adductor muscle strains in sport. Sports Med. Auckl. NZ 32, 339-344 (2002).
**9.** Bartlett, R. & Bussey, M. Sports Biomechanics Reducing Injury Risk and Improving Sports Performance. (2013).
**10.** Buceta, J. M. Psicología y lesiones deportivas: prevención y recuperación. (Dykinson, 2006).
**11.** Godshall, R. W. The predictability of athletic injuries: an eight-year study. J. Sports Med. 3, 50-54 (1975).
**12.** Ingraham, S. J. The role of flexibility in injury prevention and athletic performance: have we stretched the truth? Minn. Med. 86, 58-61 (2003).
**13.** Woods, K., Bishop, P. & Jones, E. Warm-up and stretching in the prevention of muscular injury. Sports Med. Auckl. NZ 37, 1089-1099 (2007).
**14.** McMahon, J. J., Jones, P. A., Dos'Santos, T. & Comfort, P. Influence of Dynamic Strength Index on Countermovement Jump Force-, Power-, Velocity-, and Displacement-Time Curves. Sports 5, 72 (2017).
**15.** McMahon, J. J., Lake, J. P. & Comfort, P. Reliability of and Relationship between Flight Time to Contraction Time Ratio and Reactive Strength Index Modified. Sports 6, 81 (2018).
**16.** Li, J., Zhou, Y., Zheng, Y.-P. & Li, G. An attempt to bridge muscle architecture dynamics and its instantaneous rate of force development using ultrasonography. Ultrasonics 61, 71-78 (2015).
**17.** Nacleiro, F. Entrenamiento deportivo: fundamentos y aplicaciones en diferentes deportes. (2014).
**18.** Verkhoshansky, Y. & Siff, M. C. Supertraining. (Verkhoshansky, 2009).
**19.** Suchomel, T. J., Nimphius, S. & Stone, M. H. The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. Sports Med. 46, 1419-1449 (2016).
**20.** Baker, D. Comparison of upper-body strength and power between professional and college-aged rugby league players. J. Strength Cond. Res. 15, 30-35 (2001).
**21.** Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P. & Dyhre-Poulsen, P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance

training. J. Appl. Physiol. Bethesda Md 1985 93, 1318–1326 (2002).
**22.** Maffiuletti, N. A. et al. Rate of force development: physiological and methodological considerations. Eur. J. Appl. Physiol. 116, 1091–1116 (2016).
**23.** Haff, G. G. & Nimphius, S. Training Principles for Power: Strength Cond. J. 34, 2–12 (2012).
**24.** Morin, J.-B. & Samozino, P. Interpreting Power-Force-Velocity Profiles for Individualized and Specific Training. Int. J. Sports Physiol. Perform. 11, (2015).
**25.** Lauersen, J. B., Andersen, T. E. & Andersen, L. B. Strength training as superior, dose-dependent and safe prevention of acute and overuse sports injuries: a systematic review, qualitative analysis and meta-analysis. Br. J. Sports Med. 52, 1557–1563 (2018).
**26.** Zatsiorsky, V. M. & Kraemer, W. J. Science and Practice of Strength Training. (Champaign, IL : Human Kinetics, 2006).
**27.** LeSuer, D. A., McCormick, J. H., Mayhew, J. L., Wasserstein, R. L. & Arnold, M. D. The Accuracy of Prediction Equations for Estimating 1-RM Performance in the Bench Press, Squat, and Deadlift. J. Strength Cond. Res. 11, 211–213 (1997).
**28.** Grgic, J., Lazinica, B., Schoenfeld, B. J. & Pedisic, Z. Test-Retest Reliability of the One-Repetition Maximum (1RM) Strength Assessment: a Systematic Review. Sports Med. - Open 6, 31 (2020).
**29.** Eston, R. & Evans, H. J. L. The Validity of Submaximal Ratings of Perceived Exertion to Predict One Repetition Maximum. J. Sports Sci. Med. 8, 567–573 (2009).
**30.** González-Badillo, J. J. & Sánchez-Medina, L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. Int. J. Sports Med. 31, 347–352 (2010).
**31.** Izquierdo, M. et al. Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions. Int. J. Sports Med. 27, 718–724 (2006).
**32.** Weakley, J. et al. Velocity-Based Training: From Theory to Application. Strength Cond. J. 43, 31–49 (2021).
**33.** Balsalobre-Fernández, C., Glaister, M. & Lockey, R. A. The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. J. Sports Sci. 33, 1574–1579 (2015).
**34.** Balsalobre-Fernández, C., Tejero-González, C. M., del Campo-Vecino, J. & Bavaresco, N. The concurrent validity and reliability of a low-cost, high-speed camera-based method for measuring the flight time of vertical jumps. J. Strength Cond. Res. 28, 528–533 (2014).
**35.** Lamkin-Kennard, K. A. & Popovic, M. B. 4 - Sensors: Natural and Synthetic Sensors. in Biomechatronics (ed. Popovic, M. B.) 81–107 (Academic Press, 2019). doi:10.1016/B978-0-12-812939-5.00004-5.
**36.** Collins, B. W., Pearcey, G. E. P., Buckle, N. C. M., Power, K. E. & Button, D. C. Neuromuscular fatigue during repeated sprint exercise: underlying physiology and methodological considerations. Appl. Physiol. Nutr. Metab. Physiol. Appl. Nutr. Metab. 43, 1166–1175 (2018).
**37.** Cormack, S. J., Newton, R. U., McGuigan, M. R. & Doyle, T. L. A. Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. Int. J. Sports Physiol. Perform. 3, 131–144 (2008).
**38.** Gathercole, R., Sporer, B., Stellingwerff, T. & Sleivert, G. Alternative Countermovement-Jump Analysis to Quantify Acute Neuromuscular Fatigue. Int. J. Sports Physiol. Perform. 10, 84–92 (2015).

**39.** Cormie, P., McGuigan, M. R. & Newton, R. U. Developing maximal neuromuscular power: part 2 - training considerations for improving maximal power production. Sports Med. Auckl. NZ 41, 125-146 (2011).
**40.** Parry, G. N., Herrington, L. C. & Horsley, I. G. The Test-Retest Reliability of Force Plate-Derived Parameters of the Countermovement Push-Up as a Power Assessment Tool. J. Sport Rehabil. 29, 381-383 (2020).
**41.** Parsonage, J. et al. Upper-Body Strength Measures and Pop-Up Performance of Stronger and Weaker Surfers. J. Strength Cond. Res. 34, 2982-2989 (2020).
**42.** Stien, N. et al. Upper body rate of force development and maximal strength discriminates performance levels in sport climbing. PloS One 16, e0249353 (2021).
**43.** Wang, R. et al. Isometric Mid-Thigh Pull Correlates With Strength, Sprint, and Agility Performance in Collegiate Rugby Union Players. J. Strength Cond. Res. 30, 3051-3056 (2016).
**44.** Pueo, B., Lipinska, P., Jiménez-Olmedo, J. M., Zmijewski, P. & Hopkins, W. G. Accuracy of Jump-Mat Systems for Measuring Jump Height. Int. J. Sports Physiol. Perform. 12, 959-963 (2017).
**45.** Monnet, T., Decatoire, A. & Lacouture, P. Comparison of algorithms to determine jump height and flight time from body mounted accelerometers. Sports Eng. 17, 11 (2014).
**46.** Linthorne, N. P. Analysis of standing vertical jumps using a force platform. Am. J. Phys. 69, 1198-1204 (2001).
**47.** Morin, J.-B., Jiménez-Reyes, P., Brughelli, M. & Samozino, P. When Jump Height is not a Good Indicator of Lower Limb Maximal Power Output: Theoretical Demonstration, Experimental Evidence and Practical Solutions. Sports Med. Auckl. NZ 49, 999-1006 (2019).
**48.** McGuigan, M. Testing and evaluation of strength and power. (New York: Routledge, Taylor & Francis Group, 2020).
**49.** Komi, P. V. & Bosco, C. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. Med. Sci. Sports 10, 261-265 (1978).
**50.** French, D. N., Torres Ronda, Lorena, & National Strength & Conditioning Association (U.S.). NSCA's essentials of sport science. (Champaign, IL: Human Kinetics, 2022).
**51.** Haugen, T. A., Breitschädel, F. & Seiler, S. Sprint mechanical variables in elite athletes: Are force-velocity profiles sport specific or individual? PLOS ONE 14, e0215551 (2019).
**52.** Joyce, D. & Lewindon, D. High-performance training for sports. (Champaign, IL: Human Kinetics, 2021).
**53.** Morin, J.-B. & Samozino, P. Spreadsheet for Sprint acceleration force-velocity-power profiling. (2019).
**54.** Romero-Franco, N. et al. Sprint performance and mechanical outputs computed with an iPhone app: Comparison with existing reference methods. Eur. J. Sport Sci. 17, 386-392 (2017).
**55.** Jiménez-Reyes, P. et al. Changes in mechanical properties of sprinting during repeated sprint in elite rugby sevens athletes. Eur. J. Sport Sci. 19, 585-594 (2019).
**56.** Jiménez-Reyes, P. et al. Seasonal Changes in the Sprint Acceleration Force-Velocity Profile of Elite Male Soccer Players. J. Strength Cond. Res. Publish Ahead of Print, (2020).
**57.** Mendiguchia, J. et al. Field monitoring of sprinting power-force-velocity profile before, during and after hamstring injury: two case reports. J. Sports Sci. 34, 535-541

(2016).
**58.** Cross, M. R., Brughelli, M., Samozino, P., Brown, S. R. & Morin, J.-B. Optimal Loading for Maximizing Power During Sled-Resisted Sprinting. Int. J. Sports Physiol. Perform. 12, 1069-1077 (2017).
**59.** Morin, J.-B., Capelo-Ramirez, F., Rodriguez-Pérez, M. A., Cross, M. R. & Jimenez-Reyes, P. Individual Adaptation Kinetics Following Heavy Resisted Sprint Training. J. Strength Cond. Res. (2020) doi:10.1519/JSC.0000000000003546.
**60.** Alter, M. J. Science of flexibility. (Human Kinetics, 2004).
**61.** Gajdosik, R. L. Passive extensibility of skeletal muscle: review of the literature with clinical implications. Clin. Biomech. Bristol Avon 16, 87-101 (2001).
**62.** Pedraza Mejías, C. & Martínez Cañadas, J. Respuesta fisiológica del tejido conjuntivo de músculos y tendones tras la aplicación de los agentes físicos. Fisioterapia 30, 279-285 (2008).
**63.** Godges, J. J., Macrae, H., Longdon, C., Tinberg, C. & Macrae, P. G. The effects of two stretching procedures on hip range of motion and gait economy. J. Orthop. Sports Phys. Ther. 10, 350-357 (1989).
**64.** Witvrouw, E., Mahieu, N., Danneels, L. & McNair, P. Stretching and injury prevention: an obscure relationship. Sports Med. Auckl. NZ 34, 443-449 (2004).
**65.** Safran, M. R., Garrett, W. E., Seaber, A. V., Glisson, R. R. & Ribbeck, B. M. The role of warmup in muscular injury prevention. Am. J. Sports Med. 16, 123-129 (1988).
**66.** McHugh, M. P., Connolly, D. A., Eston, R. G. & Gleim, G. W. Exercise-induced muscle damage and potential mechanisms for the repeated bout effect. Sports Med. Auckl. NZ 27, 157-170 (1999).
**67.** Witvrouw, E., Bellemans, J., Lysens, R., Danneels, L. & Cambier, D. Intrinsic Risk Factors for the Development of Patellar Tendinitis in an Athletic Population: A Two-Year Prospective Study*. Am. J. Sports Med. 29, 190-195 (2001).
**68.** Witvrouw, E., Danneels, L., Asselman, P., D'Have, T. & Cambier, D. Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. A prospective study. Am. J. Sports Med. 31, 41-46 (2003).
**69.** Hennig, E. M. & Lafortune, M. A. Relationships between Ground Reaction Force and Tibial Bone Acceleration Parameters. J. Appl. Biomech. 7, 303-309 (1991).
**70.** Corbin, C. B. & Noble, L. Flexibility. J. Phys. Educ. Recreat. 51, 23-60 (1980).
**71.** Lichtor, J. The loose-jointed young athlete: recognition and treatment. J. Sports Med. 1, 22-23 (1972).
**72.** Barrack, R. L., Skinner, H. B., Brunet, M. E. & Cook, S. D. Joint Laxity and Proprioception in the Knee. Phys. Sportsmed. 11, 130-135 (1983).
**73.** Jackson, A. W. & Baker, A. A. The Relationship of the Sit and Reach Test to Criterion Measures of Hamstring and Back Flexibility in Young Females. Res. Q. Exerc. Sport 57, 183-186 (1986).
**74.** Langford, N. J. The Relationship of the Sit and Reach Test to Criterion Measures of Hamstring and Back Flexibility in Adult Males and Females. (North Texas State University, 1987).
**75.** Heyward, V. H. Evaluación y prescripción del ejercicio. (Paidotribo, 2006).
**76.** Moore, M. L. The measurement of joint motion; the technic of goniometry. Phys. Ther. Rev. 29, 256-264 (1949).

**77.** Derrick, T. R., Hamill, J. & Caldwell, G. E. Energy absorption of impacts during running at various stride lengths. Med. Sci. Sports Exerc. 30, 128–135 (1998).
**78.** Vigotsky, A. D. et al. The modified Thomas test is not a valid measure of hip extension unless pelvic tilt is controlled. PeerJ 4, e2325 (2016).
**79.** Harvey, D. Assessment of the flexibility of elite athletes using the modified Thomas test. Br. J. Sports Med. 32, 68–70 (1998).
**80.** Roush, J., Bustillo, K. & Low, E. Measurement Error Between a Goniometer and the NIH ImageJ Program for Measuring Quadriceps Angle. Internet J. Allied Health Sci. Pract. 6, (2008).
**81.** Clapis, P. A., Davis, S. M. & Davis, R. O. Reliability of inclinometer and goniometric measurements of hip extension flexibility using the modified Thomas test. Physiother. Theory Pract. 24, 135–141 (2008).
**82.** Kim, G.-M. & Ha, S.-M. Reliability of the modified Thomas test using a lumbo-plevic stabilization. J. Phys. Ther. Sci. 27, 447–449 (2015).
**83.** Quintana Aparicio, E. & Alburquerque Sendín, F. Evidencia científica de los métodos de evaluación de la elasticidad de la musculatura isquiosural. Osteopat. Científica 3, 115–124 (2008).
**84.** Gajdosik, R. & Lusin, G. Hamstring muscle tightness. Reliability of an active-knee-extension test. Phys. Ther. 63, 1085–1090 (1983).
**85.** Worrell, T. W. & Perrin, D. H. Hamstring muscle injury: the influence of strength, flexibility, warm-up, and fatigue. J. Orthop. Sports Phys. Ther. 16, 12–18 (1992).
**86.** Rakos, D. M. et al. Interrater reliability of the active-knee-extension test for hamstring length in school-aged children. Pediatr. Phys. Ther. Off. Publ. Sect. Pediatr. Am. Phys. Ther. Assoc. 13, 37–41 (2001).
**87.** Kane, Y. & Bernasconi, J. Analysis of a modified active knee extension test. J. Orthop. Sports Phys. Ther. 15, 141–146 (1992).
**88.** Ayala, F., Sainz de Baranda, P., Cejudo, A. & Santonja, F. Pruebas angulares de estimación de la flexibilidad isquiosural: descripción de los procedimientos exploratorios y valores de referencia. Rev. Andal. Med. Deporte 6, 120–128 (2013).
**89.** Verrall, G. M. et al. Hip joint range of motion restriction precedes athletic chronic groin injury. J. Sci. Med. Sport 10, 463–466 (2007).
**90.** Ibrahim, A., Murrell, G. a. C. & Knapman, P. Adductor strain and hip range of movement in male professional soccer players. J. Orthop. Surg. Hong Kong 15, 46–49 (2007).
**91.** Hrysomallis, C. Relationship between balance ability, training and sports injury risk. Sports Med. Auckl. NZ 37, 547–556 (2007).
**92.** Malliaras, P., Hogan, A., Nawrocki, A., Crossley, K. & Schache, A. Hip flexibility and strength measures: reliability and association with athletic groin pain. Br. J. Sports Med. 43, 739–744 (2009).
**93.** Sporis, G., Vucetic, V., Jovanovic, M., Jukic, I. & Omrcen, D. Reliability and factorial validity of flexibility tests for team sports. J. Strength Cond. Res. 25, 1168–1176 (2011).
**94.** Wells, K. F. & Dillon, E. K. The Sit and Reach—A Test of Back and Leg Flexibility. Res. Q. Am. Assoc. Health Phys. Educ. Recreat. 23, 115–118 (1952).
**95.** Mayorga-Vega, D., Merino-Marban, R. & Viciana, J. Criterion-Related Validity of Sit-and-Reach Tests for Estimating Hamstring and Lumbar Extensibility: a Meta-Analysis. J. Sports Sci. Med. 13, 1–14 (2014).

**96.** Erkula, G., Demirkan, F., Kiliç, B. A. & Kiter, E. Hamstring shortening in healthy adults. J. Back Musculoskelet. Rehabil. 16, 77–81 (2002).
**97.** Hoeger, W. W. K., Hopkins, D. R., Button, S. & Palmer, T. A. Comparing the Sit and Reach with the Modified Sit and Reach in Measuring Flexibility in Adolescents. Pediatr. Exerc. Sci. 2, 156–162 (1990).
**98.** Smith, J. F. & Miller, C. V. The Effect of Head Position on Sit and Reach Performance. Res. Q. Exerc. Sport 56, 84–85 (1985).
**99.** Kawano, M. et al. Influence of the gastrocnemius muscle on the sit-and-reach test assessed by angular kinematic analysis. Rev. Bras. Fisioter. São Carlos São Paulo Braz. 14, 10–5 (2010).
**100.** Adam, C., Council of Europe, Committee for the Development of Sport, Council of Europe, & Committee of Experts on Sports Research. Eurofit: handbook for the Eurofit tests of physical fitness. (Italian National Olympic Committee, Central Direction for Sport's Technical Activities Documentation and Information Division, 1988).
**101.** Aedo-Muñoz, E. et al. Effect of sex differences in sports groups on hamstring flexibility based on the sit- reach test: new parameters for Chilean athletes. J. Phys. Educ. Sport 19, 2374–2378 (2019).
**102.** Johnson, K. D., Kim, K.-M., Yu, B.-K., Saliba, S. A. & Grindstaff, T. L. Reliability of thoracic spine rotation range-of-motion measurements in healthy adults. J. Athl. Train. 47, 52–60 (2012).
**103.** Johnson, K. D. & Grindstaff, T. L. Thoracic rotation measurement techniques: clinical commentary. North Am. J. Sports Phys. Ther. NAJSPT 5, 252–256 (2010).
**104.** Aragon, V. J., Oyama, S., Oliaro, S. M., Padua, D. A. & Myers, J. B. Trunk-Rotation Flexibility in Collegiate Softball Players With or Without a History of Shoulder or Elbow Injury. J. Athl. Train. 47, 507–515 (2012).
**105.** Allen, S., Phillips, G. & McCaig, S. A biomechanical evaluation of the combined elevation test. Phys. Ther. Sport Off. J. Assoc. Chart. Physiother. Sports Med. 25, 1–8 (2017).
**106.** Dennis, R. J., Finch, C. F., Elliott, B. C. & Farhart, P. J. The reliability of musculoskeletal screening tests used in cricket. Phys. Ther. Sport Off. J. Assoc. Chart. Physiother. Sports Med. 9, 25–33 (2008).
**107.** Furness, J., Schram, B., Corea, D., Turner, Z. & Cairns, H. The Combined Elevation Test (CET) in Adolescent School Children: A Pilot Study. Sports Basel Switz. 6, E64 (2018).
**108.** Shanley, E. et al. Shoulder range of motion measures as risk factors for shoulder and elbow injuries in high school softball and baseball players. Am. J. Sports Med. 39, 1997–2006 (2011).
**109.** Gadomski, S. J., Ratamess, N. A. & Cutrufello, P. T. Range of Motion Adaptations in Powerlifters. J. Strength Cond. Res. 32, 3020–3028 (2018).
**110.** Bierwagen, D. M. Preparticipation examination: Role of the Upper Extremity Specialist and Sports Medicine Team. J. Hand Ther. 4, 74–82 (1991).
**111.** Winter, D. A., Patla, A. E. & Frank, J. S. Assessment of balance control in humans. Med. Prog. Technol. 16, 31–51 (1990).
**112.** Horak, F. B., Nashner, L. M. & Diener, H. C. Postural strategies associated with somatosensory and vestibular loss. Exp. Brain Res. 82, 167–177 (1990).
**113.** Hrysomallis, C., McLaughlin, P. & Goodman, C. Balance and injury in elite Australian footballers. Int. J. Sports Med. 28, 844–847 (2007).

**114.** Aalto, H., Pyykkö, I., Ilmarinen, R., Kähkönen, E. & Starck, J. Postural stability in shooters. ORL J. Oto-Rhino-Laryngol. Its Relat. Spec. 52, 232–238 (1990).
**115.** Mononen, K., Konttinen, N., Viitasalo, J. & Era, P. Relationships between postural balance, rifle stability and shooting accuracy among novice rifle shooters. Scand. J. Med. Sci. Sports 17, 180–185 (2007).
**116.** Asseman, F. B., Caron, O. & Crémieux, J. Are there specific conditions for which expertise in gymnastics could have an effect on postural control and performance? Gait Posture 27, 76–81 (2008).
**117.** Kioumourtzoglou, E., Derri, V., Mertzanidou, O. & Tzetzis, G. Experience with perceptual and motor skills in rhythmic gymnastics. Percept. Mot. Skills 84, 1363–1372 (1997).
**118.** Hrysomallis, C. Balance ability and athletic performance. Sports Med. Auckl. NZ 41, 221–232 (2011).
**119.** Merriaux, P., Dupuis, Y., Boutteau, R., Vasseur, P. & Savatier, X. A Study of Vicon System Positioning Performance. Sensors 17, 1591 (2017).
**120.** Murray, N., Salvatore, A., Powell, D. & Reed-Jones, R. Reliability and Validity Evidence of Multiple Balance Assessments in Athletes With a Concussion. J. Athl. Train. 49, 540–549 (2014).
**121.** Holme, E. et al. The effect of supervised rehabilitation on strength, postural sway, position sense and re-injury risk after acute ankle ligament sprain. Scand. J. Med. Sci. Sports 9, 104–109 (1999).
**122.** Tropp, H., Ekstrand, J. & Gillquist, J. Stabilometry in functional instability of the ankle and its value in predicting injury. Med. Sci. Sports Exerc. 16, 64–66 (1984).
**123.** Visser, J. E., Carpenter, M. G., van der Kooij, H. & Bloem, B. R. The clinical utility of posturography. Clin. Neurophysiol. Off. J. Int. Fed. Clin. Neurophysiol. 119, 2424–2436 (2008).
**124.** Huang, H.-N. & Yamamoto, T. The effects of balance training frequency on the balance ability in healthy young adults. J. Exerc. Physiol. Online 16, 86–94 (2013).
**125.** Borzucka, D., Kręcisz, K., Rektor, Z. & Kuczyński, M. Postural control in top-level female volleyball players. BMC Sports Sci. Med. Rehabil. 12, 65 (2020).
**126.** Riemann, B. L., Myers, J. B. & Lephart, S. M. Sensorimotor system measurement techniques. J. Athl. Train. 37, 85–98 (2002).
**127.** Bergmark, A. Stability of the lumbar spine. A study in mechanical engineering. Acta Orthop. Scand. Suppl. 230, 1–54 (1989).
**128.** Clark, D. R., Lambert, M. I. & Hunter, A. M. Contemporary perspectives of core stability training for dynamic athletic performance: a survey of athletes, coaches, sports science and sports medicine practitioners. Sports Med. - Open 4, 32 (2018).
**129.** De Blaiser, C. et al. Is core stability a risk factor for lower extremity injuries in an athletic population? A systematic review. Phys. Ther. Sport Off. J. Assoc. Chart. Physiother. Sports Med. 30, 48–56 (2018).
**130.** McGill, S. Core Training: Evidence Translating to Better Performance and Injury Prevention. Strength Cond. J. 32, 33–46 (2010).
**131.** McGill, S. M. Low back stability: from formal description to issues for performance and rehabilitation. Exerc. Sport Sci. Rev. 29, 26–31 (2001).
**132.** Borghuis, J., Hof, A. L. & Lemmink, K. A. P. M. The importance of sensory-motor control

in providing core stability: implications for measurement and training. Sports Med. Auckl. NZ 38, 893-916 (2008).
**133.** Panjabi, M. M. The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis. J. Spinal Disord. 5, 390-396; discussion 397 (1992).
**134.** Saeterbakken, A., Fimland, M., Navarsete, J., Kroken, T. & Tillaar, R. Muscle Activity, and the Association between Core Strength, Core Endurance and Core Stability. J. Nov. Physiother. Phys. Rehabil. 2, 55-61 (2015).
**135.** McGill, S. M., Grenier, S., Kavcic, N. & Cholewicki, J. Coordination of muscle activity to assure stability of the lumbar spine. J. Electromyogr. Kinesiol. Off. J. Int. Soc. Electrophysiol. Kinesiol. 13, 353-359 (2003).
**136.** Panjabi, M. M. The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis. 390-397 (1992).
**137.** Behm, D. G., Drinkwater, E. J., Willardson, J. M. & Cowley, P. M. The use of instability to train the core musculature. Appl. Physiol. Nutr. Metab. Physiol. Appl. Nutr. Metab. 35, 91-108 (2010).
**138.** Desai, I. & Marshall, P. W. M. Acute effect of labile surfaces during core stability exercises in people with and without low back pain. J. Electromyogr. Kinesiol. Off. J. Int. Soc. Electrophysiol. Kinesiol. 20, 1155-1162 (2010).
**139.** Brazier, J., Maloney, S., Bishop, C., Read, P. J. & Turner, A. N. Lower Extremity Stiffness: Considerations for Testing, Performance Enhancement, and Injury Risk. J. Strength Cond. Res. 33, 1156-1166 (2019).
**140.** Butler, R. J., Crowell, H. P. & Davis, I. M. Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. Clin. Biomech. Bristol Avon 18, 511-517 (2003).
**141.** Kuitunen, S., Komi, P. V. & Kyröläinen, H. Knee and ankle joint stiffness in sprint running. Med. Sci. Sports Exerc. 34, 166-173 (2002).
**142.** Pruyn, E. C., Watsford, M. & Murphy, A. The relationship between lower-body stiffness and dynamic performance. Appl. Physiol. Nutr. Metab. Physiol. Appl. Nutr. Metab. 39, 1144-1150 (2014).
**143.** Wilson, G. J., Murphy, A. J. & Pryor, J. F. Musculotendinous stiffness: its relationship to eccentric, isometric, and concentric performance. J. Appl. Physiol. Bethesda Md 1985 76, 2714-2719 (1994).
**144.** Ditroilo, M. et al. Effects of fatigue on muscle stiffness and intermittent sprinting during cycling. Med. Sci. Sports Exerc. 43, 837-845 (2011).
**145.** Brazier, J. et al. Lower Extremity Stiffness: Effects on Performance and Injury and Implications for Training. Strength Cond. J. 36, 103-112 (2014).
**146.** Gollhofer, A., Schmidtbleicher, D. & Dietz, V. Regulation of Muscle Stiffness in Human Locomotion. Int. J. Sports Med. 5, 19-22 (1984).
**147.** Komi, P. V., Comit?? international olympique, & Commission m??dicale. Strength and power in sport. (Blackwell Scientific Publ, 1992).
**148.** Farley, C. T., Houdijk, H. H., Van Strien, C. & Louie, M. Mechanism of leg stiffness adjustment for hopping on surfaces of different stiffnesses. J. Appl. Physiol. Bethesda Md 1985 85, 1044-1055 (1998).
**149.** Farley, C. T. & Morgenroth, D. C. Leg stiffness primarily depends on ankle stiffness during human hopping. J. Biomech. 32, 267-273 (1999).
**150.** Granata, K. P., Padua, D. & Wilson, S. Gender differences in active musculoskeletal

stiffness. Part II. Quantification of leg stiffness during functional hopping tasks. J. Electromyogr. Kinesiol. Off. J. Int. Soc. Electrophysiol. Kinesiol. 12, 127–35 (2002).
**151.** Arampatzis, A., Brüggemann, G. P. & Metzler, V. The effect of speed on leg stiffness and joint kinetics in human running. J. Biomech. 32, 1349–1353 (1999).
**152.** Kubo, K., Kawakami, Y. & Fukunaga, T. Influence of elastic properties of tendon structures on jump performance in humans. J. Appl. Physiol. Bethesda Md 1985 87, 2090–2096 (1999).
**153.** Bojsen-Møller, J., Magnusson, S. P., Rasmussen, L. R., Kjaer, M. & Aagaard, P. Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. J. Appl. Physiol. Bethesda Md 1985 99, 986–994 (2005).
**154.** Driss, T., Lambertz, D., Rouis, M., Jaafar, H. & Vandewalle, H. Musculotendinous Stiffness of Triceps Surae, Maximal Rate of Force Development, and Vertical Jump Performance. BioMed Research International vol. 2015 e797256 https://www.hindawi.com/journals/bmri/2015/797256/ (2015).
**155.** Seyfarth, A., Geyer, H., Günther, M. & Blickhan, R. A movement criterion for running. J. Biomech. 35, 649–655 (2002).
**156.** Stefanyshyn, D. J. & Nigg, B. M. Contribution of the lower extremity joints to mechanical energy in running vertical jumps and running long jumps. J. Sports Sci. 16, 177–186 (1998).
**157.** Stefanyshyn, D. J. & Nigg, B. M. Dynamic Angular Stiffness of the Ankle Joint during Running and Sprinting. J. Appl. Biomech. 14, 292–299 (1998).
**158.** Cavagna, G., Heglund, N. & Willems, P. Effect of an increase in gravity on the power output and the rebound of the body in human running. J. Exp. Biol. 208, 2333–46 (2005).
**159.** Günther, M. & Blickhan, R. Joint stiffness of the ankle and the knee in running. J. Biomech. 35, 1459–1474 (2002).
**160.** Morin, J. B., Dalleau, G., Kyröläinen, H., Jeannin, T. & Belli, A. A simple method for measuring stiffness during running. J. Appl. Biomech. 21, 167–180 (2005).
**161.** Brughelli, M., Cronin, J., Levin, G. & Chaouachi, A. Understanding change of direction ability in sport: a review of resistance training studies. Sports Med. Auckl. NZ 38, 1045–1063 (2008).
**162.** Bret, C., Rahmani, A., Dufour, A.-B., Messonnier, L. & Lacour, J.-R. Leg strength and stiffness as ability factors in 100 m sprint running. J. Sports Med. Phys. Fitness 42, 274–281 (2002).
**163.** Hobara, H., Inoue, K., Omuro, K., Muraoka, T. & Kanosue, K. Determinant of leg stiffness during hopping is frequency-dependent. Eur. J. Appl. Physiol. 111, 2195–201 (2011).
**164.** Derrick, T., Caldwell, G. & Hamill, J. Modeling the Stiffness Characteristics of the Human Body while Running with Various Stride Lengths. J. Appl. Biomech. 16, 36–51 (2000).
**165.** McMahon, T. A. & Cheng, G. C. The mechanics of running: how does stiffness couple with speed? J. Biomech. 23 Suppl 1, 65–78 (1990).
**166.** Ziliaskoudis, C., Park, S.-Y. & Lee, S.-H. Running economy – a comprehensive review for passive force generation. J. Exerc. Rehabil. 15, 640–646 (2019).
**167.** Dutto, D. J. & Smith, G. A. Changes in spring–mass characteristics during treadmill running to exhaustion. Med. Sci. Sports Exerc. 34, 1324–1331 (2002).

**168.** Kerdok, A. E., Biewener, A. A., McMahon, T. A., Weyand, P. G. & Herr, H. M. Energetics and mechanics of human running on surfaces of different stiffnesses. J. Appl. Physiol. Bethesda Md 1985 92, 469–478 (2002).
**169.** Latash, M. L. Fundamentals of Motor Control. (Academic Press, 2013).
**170.** Laughton, C., Davis, I. & Hamill, J. Effect of Strike Pattern and Orthotic Intervention on Tibial Shock During Running. J. Appl. Biomech. 19, (2003).
**171.** Watsford, M. L. et al. A prospective study of the relationship between lower body stiffness and hamstring injury in professional Australian rules footballers. Am. J. Sports Med. 38, 2058–2064 (2010).
**172.** Wang, D., De Vito, G., Ditroilo, M., Fong, D. T. P. & Delahunt, E. A comparison of muscle stiffness and musculoarticular stiffness of the knee joint in young athletic males and females. J. Electromyogr. Kinesiol. Off. J. Int. Soc. Electrophysiol. Kinesiol. 25, 495–500 (2015).
**173.** Kuitunen, S., Kyröläinen, H., Avela, J. & Komi, P. V. Leg stiffness modulation during exhaustive stretch-shortening cycle exercise. Scand. J. Med. Sci. Sports 17, 67–75 (2007).
**174.** Adigozali, H., Shadmehr, A., Ebrahimi, E., Rezasoltani, A. & Naderi, F. Reliability of upper trapezius morphology, its mechanical properties and blood flow in female patients with myofascial pain syndrome using ultrasonography. J. Bodyw. Mov. Ther. 21, (2016).
**175.** Viir, R., Laiho, K., Kramarenko, J., Mikkelsson, M. & Ky, R. Repeatability of trapezius muscle tone assessment by a myometric method. J. Mech. Med. Biol. 06, (2006).
**176.** Boiteau, M., Malouin, F. & Richards, C. Use of a Hand-held Dynamometer and a Kin-Com® Dynamometer for Evaluating Spastic Hypertonia in Children: A Reliability Study. Phys. Ther. 75, 796–802 (1995).
**177.** Bressel, E. & McNair, P. J. The effect of prolonged static and cyclic stretching on ankle joint stiffness, torque relaxation, and gait in people with stroke. Phys. Ther. 82, 880–887 (2002).
**178.** Gómez-Soriano, J. et al. The effects of Kinesio taping on muscle tone in healthy subjects: A double-blind, placebo-controlled crossover trial. Man. Ther. 19, 131–136 (2014).
**179.** Horita, T., Komi, P., Nicol, C. & Kyröläinen, H. Interaction between pre-landing activities and stiffness regulation of the knee joint musculoskeletal system in the drop jump: Implications to performance. Eur. J. Appl. Physiol. 88, 76–84 (2002).
**180.** Kuitunen, S., Ogiso, K. & Komi, P. V. Leg and joint stiffness in human hopping. Scand. J. Med. Sci. Sports 21, e159–e167 (2011).
**181.** Maloney, S. J., Fletcher, I. M. & Richards, J. A comparison of methods to determine bilateral asymmetries in vertical leg stiffness. J. Sports Sci. 34, 829–835 (2016).
**182.** Maloney, S. J., Richards, J., Nixon, D. G. D., Harvey, L. J. & Fletcher, I. M. Do stiffness and asymmetries predict change of direction performance? J. Sports Sci. 35, 547–556 (2017).
**183.** Lake, J. et al. Concurrent Validity of a Portable Force Plate Using Vertical Jump Force-Time Characteristics. J. Appl. Biomech. 34, 410–413 (2018).
**184.** Peterson Silveira, R. et al. Validity of a portable force platform for assessing biomechanical parameters in three different tasks. Sports Biomech. 16, 177–186 (2017).
**185.** Ortega, D. R. Variables cinéticas y stiffness vertical de bailarinas de ballet en la realización de un salto vertical. [Kinetic variables and vertical stiffness of female ballet dancers during a vertical jump]. RICYDE Rev. Int. Cienc. Deporte 17, 1–12 (2021).

**186.** Rojano, D., Berral Aguilar, A. & de la Rosa, F. J. Kinetic variables and vertical stiffness of female volleyball players during a vertical jump. J. Phys. Educ. Sport 21, 201-207 (2021).
**187.** Moir, G. L., Garcia, A. & Dwyer, G. B. Intersession reliability of kinematic and kinetic variables during vertical jumps in men and women. Int. J. Sports Physiol. Perform. 4, 317-330 (2009).
**188.** Struzik, A. & Zawadzki, J. Leg stiffness during phases of countermovement and take-off in vertical jump. Acta Bioeng. Biomech. 15, 113-118 (2013).
**189.** Marusiak, J., Kisiel-Sajewicz, K., Jaskólska, A. & Jaskólski, A. Higher Muscle Passive Stiffness in Parkinson's Disease Patients Than in Controls Measured by Myotonometry. Arch. Phys. Med. Rehabil. 91, 800-2 (2010).
**190.** Leonard, C. T., Brown, J. S., Price, T. R., Queen, S. A. & Mikhailenok, E. L. Comparison of surface electromyography and myotonometric measurements during voluntary isometric contractions. J. Electromyogr. Kinesiol. Off. J. Int. Soc. Electrophysiol. Kinesiol. 14, 709-714 (2004).
**191.** Aird, L., Samuel, D. & Stokes, M. Quadriceps muscle tone, elasticity and stiffness in older males: reliability and symmetry using the MyotonPRO. Arch. Gerontol. Geriatr. 55, e31-39 (2012).
**192.** Bizzini, M. & Mannion, A. F. Reliability of a new, hand-held device for assessing skeletal muscle stiffness. Clin. Biomech. Bristol Avon 18, 459-461 (2003).
**193.** Chuang, L., Wu, C. & Lin, K. Reliability, validity, and responsiveness of myotonometric measurement of muscle tone, elasticity, and stiffness in patients with stroke. Arch. Phys. Med. Rehabil. 93, 532-540 (2012).
**194.** Gavronski, G., Veraksits, A., Vasar, E. & Maaroos, J. Evaluation of viscoelastic parameters of the skeletal muscles in junior triathletes. Physiol. Meas. 28, 625-637 (2007).
**195.** Gubler-Hanna, C., Laskin, J., Marx, B. J. & Leonard, C. T. Construct validity of myotonometric measurements of muscle compliance as a measure of strength. Physiol. Meas. 28, 913-924 (2007).
**196.** Pruyn, E. C., Watsford, M. L. & Murphy, A. J. Validity and reliability of three methods of stiffness assessment. J. Sport Health Sci. 5, 476-483 (2016).
**197.** Huijing, P. A. & Baan, G. C. Myofascial force transmission: muscle relative position and length determine agonist and synergist muscle force. J. Appl. Physiol. Bethesda Md 1985 94, 1092-1107 (2003).
**198.** Morgan, G. E., Martin, R., Williams, L., Pearce, O. & Morris, K. Objective assessment of stiffness in Achilles tendinopathy: a novel approach using the MyotonPRO. BMJ Open Sport — Exerc. Med. 4, e000446 (2018).
**199.** Bravo-Sánchez, A., Abián, P., Jiménez, F. & Abián-Vicén, J. Myotendinous asymmetries derived from the prolonged practice of badminton in professional players. PLOS ONE 14, e0222190 (2019).
**200.** Cristi-Sánchez, I. et al. Patellar and Achilles Tendon Stiffness in Elite Soccer Players Assessed Using Myotonometric Measurements. Sports Health 11, 157-162 (2019).
**201.** Orner, S., Kratzer, W., Schmidberger, J. & Grüner, B. Quantitative tissue parameters of Achilles tendon and plantar fascia in healthy subjects using a handheld myotonometer. J. Bodyw. Mov. Ther. 22, 105-111 (2018).
**202.** Pożarowszczyk, B. et al. Effects of Karate Fights on Achilles Tendon Stiffness

Measured by Myotonometry. J. Hum. Kinet. 56, 93–97 (2017).
**203.** Pérez-Soriano, P. & Llana Belloch, S. Biomecánica básica aplicada a la actividad física y el deporte. (2015).
**204.** Barrios Recio Joaquín & Ranzola Ribas, A. Manual para el deporte de iniciación y desarrollo. (Ediciones Deportivas Latinoamericanas, 1999).
**205.** Diener-González, L. & Aedo-Muñoz, E. Indicadores cinemáticos en el salto de extensión. Arrancada 17, 75–83 (2017).
**206.** Aedo-Muñoz, E. & Garrido, B. Conceptualización de la Biomecánica Deportiva y Biomecánica de la Educación Física. Rev. Educ. Física Chile (2011).
**207.** Aedo-Muñoz, E. et al. Propuesta de modelo técnico de pateo en fútbol: Una revisión sistemática de variables cinemáticas y cinéticas. MHSalud 17, 98–116 (2020).
**208.** Aedo-Muñoz, E. et al. Kinematic variations of uphill in mountain bikers. Retos Nuevas Tend. En Educ. Física Deporte Recreación 40, 257–263 (2021).
**209.** Diener-González, L. & Aedo-Muñoz, E. Systematic review of yurchenko vault kinetic and kinematic indicators. Sci. Gymnast. J. 11, 115–123 (2019).
**210.** Davis, R. B., Õunpuu, S., Tyburski, D. & Gage, J. R. A gait analysis data collection and reduction technique. Hum. Mov. Sci. 10, 575–587 (1991).
**211.** Kadaba, M. P., Ramakrishnan, H. K. & Wootten, M. E. Measurement of lower extremity kinematics during level walking. J. Orthop. Res. Off. Publ. Orthop. Res. Soc. 8, 383–392 (1990).
**212.** Frigo, C., Rabuffetti, M., Kerrigan, D. C., Deming, L. C. & Pedotti, A. Functionally oriented and clinically feasible quantitative gait analysis method. Med. Biol. Eng. Comput. 36, 179–185 (1998).
**213.** Cappozzo, A., Catani, F., Croce, U. D. & Leardini, A. Position and orientation in space of bones during movement: anatomical frame definition and determination. Clin. Biomech. Bristol Avon 10, 171–178 (1995).
**214.** Duffell, L. D., Hope, N. & McGregor, A. H. Comparison of kinematic and kinetic parameters calculated using a cluster-based model and Vicon's plug-in gait. Proc. Inst. Mech. Eng. [H] 228, 206–210 (2014).
**215.** Winters, M., Savard, A., Verfaille, V. & Wanderley, M. A Sonification Tool For The Analysis of Large Databases of Expressive Gesture. Int. J. Multimed. Its Appl. 4, 13–26 (2012).
**216.** Frutos, J. B., Andrés, J. M. P. & Elvira, J. L. L. Three-dimensional kinematic analysis: methodological aspects. Eur. J. Hum. Mov. 29, 75–94 (2012).
**217.** Basmajian, J. V. & Luca, C. J. de. Muscles Alive: their functions revealed by electromyography. (Williams & Wilkins, 1985).
**218.** Merletti, R. Electromyography: physiology, engineering and noninvasive applications. (Wiley-Interscience, 2010).
**219.** Guzmán-Muñoz, E. & Méndez-Rebolledo, G. Electromiografía en las Ciencias de la Rehabilitación. Rev. Salud Uninorte 34, 753–765 (2018).
**220.** Kandel, E. R., Koester, J., Mack, S. & Siegelbaum, S. Principles of neural science. (2021).
**221.** Lamontagne, M. Application of Electromyography in Sport Medicine. in Rehabilitation of Sports Injuries: Current Concepts (eds. Puddu, G., Giombini, A. & Selvanetti, A.) 31–42 (Springer, 2001). doi:10.1007/978-3-662-04369-1_4.
**222.** Massó, N. et al. Surface electromyography applications. Apunts Sports Med. 45,

127-136 (2010).
**223.** De Luca, C. Electromyography. in Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation (John Wiley & Sons, Ltd, 2006). doi:10.1002/0471732877.emd097.
**224.** Konrad, P. ABC EMG: praktyczne wprowadzenie do elektromiografii kinezjologicznej. (Technomex Spółka, 2007).
**225.** Criswell, E. & Cram, J. R. Cram's introduction to surface electromyography. (Jones and Bartlett, 2011).
**226.** Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles (SENIAM). http://www.seniam.org/.
**227.** Rampichini, S., Vieira, T. M., Castiglioni, P. & Merati, G. Complexity Analysis of Surface Electromyography for Assessing the Myoelectric Manifestation of Muscle Fatigue: A Review. Entropy 22, 529 (2020).
**228.** Besomi, M. et al. Consensus for experimental design in electromyography (CEDE) project: Amplitude normalization matrix. J. Electromyogr. Kinesiol. 53, 102438 (2020).
**229.** Halaki, M. & Gi, K. Normalization of EMG Signals: To Normalize or Not to Normalize and What to Normalize to? Comput. Intell. Electromyogr. Anal. - Perspect. Curr. Appl. Future Chall. undefined-undefined (2012) doi:10.5772/49957.
**230.** Bazett-Jones, D., Winchester, J. & McBride, J. Effect of Potentiation and Stretching on Maximal Force, Rate of Force Development, and Range of Motion. J. Strength Cond. Res. Natl. Strength Cond. Assoc. 19, 421-6 (2005).
**231.** Güllich, A. & Schmidtbleicher, D. MVC-induced short-term potentiation of explosive force. New Stud. Athl. 11, S. 67-81 (1996).
**232.** Vøllestad, N. K. Measurement of human muscle fatigue. J. Neurosci. Methods 74, 219-227 (1997).
**233.** Kumar, S., Fagarasanu, M., Narayan, Y. & Prasad, N. Measures of localized spinal muscle fatigue. Ergonomics 49, 1092-1110 (2006).
**234.** Bini, R. & Rossato, M. Kinetics and Pedaling Technique. in 43-53 (2014). doi:10.1007/978-3-319-05539-8_5.
**235.** Bini, R., Hume, P. A. & Croft, J. L. Effects of bicycle saddle height on knee injury risk and cycling performance. Sports Med. Auckl. NZ 41, 463-476 (2011).

CAPITULO 4

# LINEAMIENTOS DE FISIOLOGÍA DEPORTIVA APLICADA AL ALTO RENDIMIENTO

**Autores**
Danni Haichelis, Patricia Reuquén, Daniel Zapata, Hugo Cerda Kohler.

# TABLA DE CONTENIDOS


Introducción 284

Un poco de Historia 285

La Investigación como Base del Conocimiento en las Diferentes Aristas de la Fisiología 286

Área de Fisiología Deportiva 287

Objetivo 287

Valoraciones y Monitoreo 287

Valoraciones Primarias 288

Valoraciones Secundarias 288

Pilar de Rendimiento Deportivo 290

Monitoreo y Valoraciones Periódicas 291

Monitoreo en Terreno 291

Visión Global de las Valoraciones Fisiológicas 291

Consumo máximo de oxígeno (VO2máx.) 292

Determinación de umbrales ventilatorios 295

Umbral de lactato 297

Máximo estado estable de lactato 300

Cinética del consumo de oxígeno como predictor de rendimiento 303

Test de Wingate 306

Test de RAST 308

Aporte del Área de Fisiología Deportiva a la Planificación y Monitoreo de Cargas de Entrenamiento 309

Pilar de Prevención de Lesiones y Enfermedades 317

Parametrización de la Información y Cruce de Datos 317

Pilar de Evidencia Diagnostica, Rehabilitación y Reintegro Deportivo 317

Bibliografía 319

# INTRODUCCIÓN

La fisiología es el estudio científico de las funciones y mecanismos que se desarrollan dentro de un sistema vivo. En el contexto del cuerpo humano, esta disciplina engloba el funcionamiento de los diversos tejidos, órganos y sistemas que lo componen[1]. La fisiología del ejercicio amplía este ámbito, estudiando los cambios de las estructuras y funciones de nuestro cuerpo al estar expuesto a la práctica deportiva, ya que este estímulo genera una serie de respuestas tanto agudas como crónicas[2]. Asimismo, las respuestas al ejercicio intenso y al entrenamiento se pueden estudiar en diferentes contextos (altitud, temperatura, humedad, entre otros), permitiendo la valoración de la incidencia de los factores ambientales sobre la capacidad de respuesta y adaptación, tanto a nivel metabólico como fisiológico, de las diferentes áreas del organismo[3]. De esta área se desprende la **Fisiología del Deporte**, la cual utiliza los principios de la fisiología del ejercicio para guiar el proceso de entrenamiento, en búsqueda de la mejora y optimización de diversos procesos fisiológicos que permitirán obtener una mejora en el rendimiento deportivo de los atletas[1].

Actualmente, estudios relacionados con la fisiología del ejercicio se realizan en personas jóvenes o de edad avanzada, sanas o enfermas, con el objetivo de evaluar los efectos de una intervención práctica sobre diversas capacidades funcionales del cuerpo humano. En este contexto, es de gran importancia dar relevancia a cómo la información derivada de estos estudios se aplica hoy en día a la prevención y rehabilitación de diversas patologías o alteraciones originadas tanto del entrenamiento como de enfermedades que puedan afectar el rendimiento de los atletas profesionales[3]. Por otro lado, la aceptación de términos como fisiología del deporte, psicología deportiva, nutrición deportiva y medicina deportiva deja en evidencia el creciente interés por la aplicación de la fisiología del ejercicio en distintas áreas que tienen un impacto directo sobre las múltiples etapas relacionadas con el desarrollo de un atleta, incluyendo la planificación del entrenamiento, la competición, la recuperación y el descanso, junto con la mirada de que tanto el proceso de entrenamiento, el rendimiento atlético y la recuperación post ejercicio se ven mejorados con una nutrición óptima, siendo recomendada la selección adecuada de alimentos y líquidos basados en principios de la fisiología del ejercicio[4].

## Un poco de Historia

El ejercicio se ha considerado importante para la salud humana durante miles de años, comenzando con las culturas antiguas. Durante los últimos siglos, un pequeño pero creciente grupo de científicos ha centrado sus estudios en el funcionamiento del cuerpo humano y los cambios fisiológicos que se generan frente al ejercicio. La fisiología del ejercicio surgió principalmente en las civilizaciones de la antigua Grecia y Asia Menor, aunque los temas de ejercicio, deportes, juegos y salud ya eran de interés para civilizaciones anteriores. Las primeras referencias de los deportes, juegos y prácticas de salud (higiene personal, ejercicio y entrenamiento) fueron registradas por las civilizaciones antiguas de Siria, Egipto, Macedonia, Arabia, Mesopotamia y Persia, India y China. Sin embargo, la mayor influencia en la civilización occidental provino de los médicos griegos de la antigüedad: Heródico (siglo V a. C.), Hipócrates (460–377 a. C.), y Claudio Galeno o Galeno (d. C. 131–201)[4]. En este sentido, Heródico, un médico y atleta, defendió fuertemente una dieta adecuada en el entrenamiento físico. Sus primeros escritos y fieles seguidores influenciaron al famoso médico Hipócrates, considerado el «padre» de la medicina moderna (460–377 a. C.), quien fue uno de los primeros y más conocidos defensores del ejercicio, siendo el primer filósofo que escribió acerca de la medicina preventiva, recomendando ejercicio moderado para mantenerse saludable e incluso mejorar la salud[4]. Cinco siglos después de Hipócrates, surgió Galeno como quizás el médico más conocido e influyente que ha existido. Implementó y mejoró el pensamiento de ese momento acerca de la salud y la higiene científica, un área que algunos podrían considerar fisiología del ejercicio «aplicada». Durante su vida, Galeno enseñó y practicó las «leyes de la salud»: respirar aire fresco, consumir alimentos adecuados, tomar las bebidas correctas, realizar ejercicio, dormir adecuadamente, tener una evacuación diaria, y controlar las emociones. Además, fue el autor de al menos 80 tratados que abarcaban temas relacionados con la anatomía, fisiología, nutrición, crecimiento y desarrollo, junto con abordar los efectos favorables del ejercicio, y las consecuencias dañinas de la vida sedentaria. Como médico de los gladiadores de Pergamos, Galeno complementó sus conocimientos anatómicos al tratar tendones y músculos desgarrados producto del combate mediante procedimientos

quirúrgicos inventados por él, incluyendo la cirugía de luxación de hombro. Más adelante, durante el siglo XIX, algunos libros de texto de medicina comenzaron a incluir capítulos sobre ejercicio, los efectos negativos de la falta de ejercicio, incluida la mala circulación, la debilidad y una mayor probabilidad de enfermedad. A medida que la importancia de la actividad física se hizo cada vez más importante, las escuelas también comenzaron a ofrecer clases de educación física, que requerían que los estudiantes realizaran ejercicios durante un período de tiempo determinado cada día[4].

## La Investigación como Base del Conocimiento en las Diferentes Aristas de la Fisiología

Los laboratorios dedicados al estudio de la fisiología del ejercicio también se establecieron en el siglo XX. Estos incluyeron el Laboratorio de Fatiga de Harvard, inaugurado en 1927, y el Laboratorio de Investigación de Aptitud Física de la Universidad de Illinois, inaugurado en 1944. Estas escuelas llevaron a cabo numerosos estudios sobre temas como la fatiga, los cambios cardiovasculares durante el ejercicio, el consumo de oxígeno por el cuerpo durante el ejercicio y los efectos de entrenamiento. En 1948, comenzó a publicarse el Journal of Applied Physiology. Esta revista publica investigaciones revisadas por pares en fisiología del ejercicio y todavía existe en la actualidad. Si bien contribuyen en gran medida a nuestra comprensión de los efectos del ejercicio, los laboratorios de fisiología del ejercicio también capacitaron a numerosos científicos que fundarían sus propios laboratorios en universidades y escuelas de medicina de todo el mundo[1].

Actualmente los científicos y científicas del deporte y del ejercicio continúan realizando diversas investigaciones para profundizar en los mecanismos que regulan las respuestas fisiológicas del cuerpo a las intensas series de ejercicio, abordando aquellos cambios que pueden ser temporales y desaparecer después del ejercicio como también las adaptaciones que permanecen en el tiempo, ya sean de la estructura, de la función o ambos. Estas adaptaciones permiten al organismo responder mejor frente al mismo estímulo logrando así llevar el rendimiento deportivo a niveles que antes hubiesen sido impensados.

Para realizar todo esto, hoy en día ha tomado fuerza la convergencia de distintos profesionales (entrenadores, profesores de educación física, bioquímicos, médicos, entre otros) desarrollando un ambiente colaborativo e inter/transdisciplinario que nos permite abordar esta área de la fisiología de una manera más profunda y robusta mediante la integración de diversas disciplinas, promoviendo así el desarrollo exitoso de nuevo conocimiento.

## Área de Fisiología Deportiva

El área de Fisiología Deportiva es una de las seis áreas que conforman la Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte (UCAD). Actualmente está enfocada en contribuir al propósito de la UCAD, el cual es ser un área de asesoría, monitoreo y apoyo de excelencia al deporte de alto rendimiento. Para llevar a cabo esto, el área de Fisiología del Deporte basa sus actividades en una serie de lineamientos desarrollados en función de los pilares estratégicos de la UCAD. Estos lineamientos, nos entregan las directrices necesarias para llevar a cabo con éxito todas las acciones necesarias para cumplir con nuestros objetivos. Por lo tanto, el compromiso de este laboratorio es desarrollar un trabajo alineado con las necesidades y requerimientos del entorno, poniéndose a disposición de las distintas áreas del quehacer de la UCAD, tributando a cada uno de los pilares estratégicos.

## Objetivo

Apoyar a los atletas durante todo su proceso de entrenamiento y competencia mediante la valoración y monitoreo de variables fisiológicas que inciden en su desempeño deportivo, promoviendo una comunicación constante y colaborativa entre el área de Fisiología Deportiva, las otras áreas de la UCAD y el equipo técnico.

## Valoraciones y Monitoreo

El área de Fisiología Deportiva realiza valoraciones y monitoreo de los parámetros fisiológicos asociados a todo el proceso de entrenamiento

de los atletas mediante una serie de pruebas que nos permiten parametrizar valores con el fin de mejorar la toma de decisiones para la prescripción, planificación y periodización del entrenamiento; además de cooperar en la selección de estrategias que permitan desarrollar en mejor medida el rendimiento deportivo en la competencia. Para lograr esto, nuestra área se guía por evidencia científica actualizada para determinar criterios de rendimiento y monitoreo constante a los procesos de entrenamiento y competencia deportiva, con el fin de asesorar a nuestros atletas y cuerpos técnicos en el proceso de búsqueda del rendimiento deportivo óptimo[5]. En función de lo anterior, se ha establecido una batería de pruebas agrupadas en dos categorías denominadas **"Valoraciones Primarias y Secundarias"** (ver **Capítulo 1**), las cuales nos permiten responder a las necesidades manifestadas por el cuerpo técnico en función de la madurez, nivel competitivo, valores de referencia y objetivos de cada atleta (**Figura 1**). El desarrollo de las diferentes pruebas, que constituyen la etapa inicial de una valoración, puede ser llevado a cabo tanto en campo como en un laboratorio según los criterios descritos anteriormente.

## Valoraciones Primarias

Estas valoraciones corresponden a las pruebas esenciales, transversales para una categoría deportiva, y permiten determinar el estado fisiológico funcional y de rendimiento de cada atleta con la finalidad de recopilar la suficiente información para que posteriormente, en conjunto con el cuerpo técnico, se proceda a las parametrización de los resultados. Esto permitirá definir objetivos basados en valores fisiológicos establecidos para su disciplina y nivel de desarrollo, logrando así responder atingentemente a las necesidades mínimas específicas de cada individuo (ver **Criterios de Rendimiento** en **Capítulo 1**).

## Valoraciones Secundarias

Estas valoraciones corresponden a pruebas específicas de cada deporte, las cuales permitirán al atleta ajustar de manera específica su condición avanzada en un período de madurez biológica y deportiva. La elección

de estas valoraciones se lleva a cabo en conjunto entre el equipo técnico-científico y el cuerpo técnico, procurando mantener una comunicación constante, desarrollando así un monitoreo estructurado y ordenado que permita entregar el apoyo necesario para el logro de la maestría deportiva (ver **Capítulo 1**).

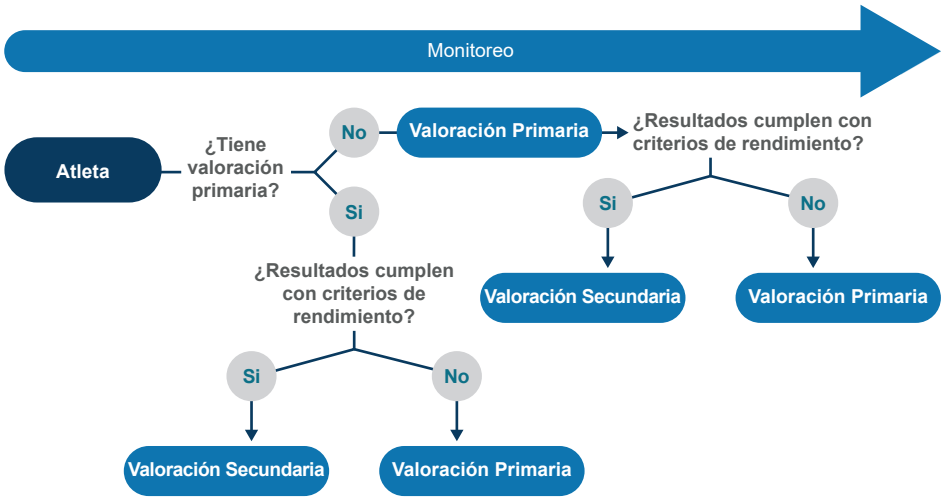



**Figura 1.** Diagrama de flujo sobre valoraciones primarias y secundarias.

## Valoraciones funcionales y pruebas de laboratorio

Con el objetivo de apoyar el proceso de monitoreo de la preparación, progresión y competencia de los atletas, nuestra área aporta con una serie de valoraciones primarias y secundarias que nos permitirán obtener y entregar información relevante, discriminando niveles y parámetros de rendimiento y de control de cargas que sustenten la toma de decisiones del cuerpo técnico.

## Sistematización de la información

Comprendiendo que el monitoreo sistemático de información nos permite comparar y generar un análisis, nuestra área se apoyará de un sistema de nube donde cada resultado e informe de las valoraciones realizadas es archivada de manera virtual en nuestra plataforma. Esto permitirá desarrollar monitoreo, comparar resultados, sugerir estados de fatiga, entre otros, facilitando la retroalimentación y exposición de la información, y permitiendo un fácil y rápido acceso desde cualquier

parte del mundo y en cualquier dispositivo. Por último, el área de Fisiología Deportiva se guía principalmente en la evidencia científica para determinar criterios de rendimiento y monitoreo a los procesos de entrenamiento deportivo con el fin de asesorar a nuestros atletas con información válida, confiable y actualizada.

## Vinculación y retroalimentación entre el área de Fisiología Deportiva y el cuerpo técnico

La vinculación y comunicación constante entre ambas áreas se produce a través de diferentes vías como correos electrónicos, vía telefónica, videoconferencias, reuniones presenciales y contacto directo. Para la entrega de información, los parámetros de tiempo se han establecido entre 1 y 2 días[6] cuando se trata de una valoración de laboratorio debido a la complejidad del análisis y operatividad del equipo. Por otro lado, cuando hablamos de una prueba de monitoreo, es posible que el cuerpo técnico reciba la información en tiempo real según corresponda la variable pesquisada ya que muchas veces el control es sencillo y no requiere la elaboración de un informe complejo. Con el fin de facilitar la toma de decisiones por parte del cuerpo técnico y debido a la gran cantidad de información que nos entregan algunos equipos, el Área de Fisiología Deportiva ha consensuado que el informe de valoración debe entregar los resultados en forma sencilla, de fácil lectura, con información relevante para la disciplina y lo más práctica posible.

## Laboratorio de Fisiología Deportiva y su Tributo a los Pilares Estratégicos

## Pilar de Rendimiento Deportivo

Uno de los objetivos de nuestra área es apoyar el monitoreo de los parámetros fisiológicos asociados a valorar el rendimiento deportivo durante todo el proceso de entrenamiento y competencia del atleta. Por consiguiente, se han establecido una serie de estrategias que nos permiten sugerir al cuerpo técnico, metas en función a los parámetros

valorados, comparados previamente con criterios de rendimiento establecidos. En base a lo anterior, se han definido dos acciones concretas:

## Monitoreo y Valoraciones Periódicas

Desde el punto de vista fisiológico, se comprende que existen ciertas estructuras y/o sistemas que requieren temporalidades diferentes para observar con claridad un cambio o adaptación respecto a las cargas de entrenamiento[7,8]. Por consiguiente, el área de Fisiología Deportiva propone una estructura de tiempo lógica para el monitoreo de nuestras pruebas con el fin de asegurar un correcto análisis de los datos observados.

## Monitoreo en Terreno

Nuestra área plantea que una de las tareas principales dentro del pilar de rendimiento es que los fisiólogos del deporte asistan al terreno donde el atleta desarrolla su entrenamiento día a día, alterando lo menos posible su desempeño deportivo. Esta acción ecológica intenta aportar de manera diferenciadora al deporte nacional, proponiendo en conjunto al cuerpo técnico, valoraciones válidas y confiables que sostengan la "realidad de juego/competencia". Por otro lado, sabemos que la literatura tiene límites en el abanico de variables posibles a pesquisar de manera específica en un deporte, por lo que nuestra área de Fisiología Deportiva abre una línea de innovación o creación de pruebas adaptadas permitiendo valorar áreas no descritas tradicionalmente en la literatura, las cuales deben ser tanto de campo como de laboratorio. Esta área de innovación dinámica que tributa al pilar de Rendimiento Deportivo permite fortalecer el vínculo con atletas y entrenadores, permitiendo entregar información de mayor relevancia.

## Visión Global de las Valoraciones Fisiológicas

Uno de los aspectos fisiológicos que se valoran en el área de fisiología es el funcionamiento del continuo energético en su totalidad, así como de

los sistemas energéticos que lo componen y su contribución especifica a las diferentes disciplinas deportivas, permitiendo de esta manera realizar un análisis especifico de factores que pudieran potenciar el rendimiento de nuestros atletas. Es en este contexto que la valoración de la capacidad aeróbica máxima a sido ampliamente descrita como una variable incidente en el rendimiento deportivo, tanto en pruebas de fondo[6] como en aquellas que requieren la realización repetitiva de esfuerzos de alta intensidad[9,10]. De igual manera, las intensidades a las que ocurren las transiciones entre los diferentes sistemas energéticos tienen directa relación con el rendimiento deportivo[11]. Es por ello que la determinación de los umbrales ventilatorios, así como del consumo máximo de oxígeno, constituyen un insumo de gran valor para la planificación del entrenamiento. En función de lo anterior, y para responder a las necesidades de los atletas y su equipo técnico, nuestro área de Fisiología Deportiva cuenta con las siguientes valoraciones:

## Consumo máximo de oxígeno ($VO_2$máx.)

La capacidad para realizar trabajo físico está asociada con la capacidad del cuerpo para extraer, transportar y utilizar oxígeno[12]. En un contexto en donde el cuerpo se vea sometido a cargas crecientes de trabajo, nos encontraremos con el concepto de capacidad aérobica máxima de ejercicio, la cual se define como "la máxima capacidad del sistema cardiovascular para suministrar oxígeno al músculo esquelético y la máxima capacidad de este para extraer oxígeno de la sangre"[13]. En consecuencia, la tolerancia al ejercicio será determinada por tres factores: intercambio de gases a nivel pulmonar; rendimiento cardiovascular, incluido el árbol vascular periférico; y metabolismo del músculo esquelético. En este contexto, la importancia de valorar objetivamente la capacidad de ejercicio promueve la aplicación de una Prueba de Ejercicio Cardiopulmonar (CPET, de Cardiorespiratory Exercise Test). Esta prueba proporciona una valoración integral de las diferentes respuestas generadas frente al ejercicio, en donde encontramos componentes del sistema cardiovascular, pulmonar y músculo esquelético, entre otros. Esta prueba se caracteriza por ser dinámica y

no invasiva, permitiendo la valoración de respuestas fisiológicas al ejercicio tanto en condiciones submáximas como máximas, obteniendo una amplia gama de valores relacionados con la respuesta del cuerpo como son la frecuencia ventilatoria, frecuencia cardiaca, producción de dióxido de carbono ($VCO_2$), consumo de oxígeno ($VO_2$) y los umbrales ventilatorios, entre otros. El consumo de oxígeno ($VO_2$) es el volumen de oxígeno extraído desde el aire inhalado durante la ventilación pulmonar en un período determinado de tiempo, expresado en términos absolutos (mL/min o L/min) o relativos (mL/min/kg). En la práctica, el consumo máximo de oxígeno ($VO_2$máx.) se define como el valor más alto alcanzado, a pesar del aumento progresivo de la carga aplicada, desarrollando una meseta en la curva de consumo de oxígeno durante una prueba incremental (**Figura 2**).

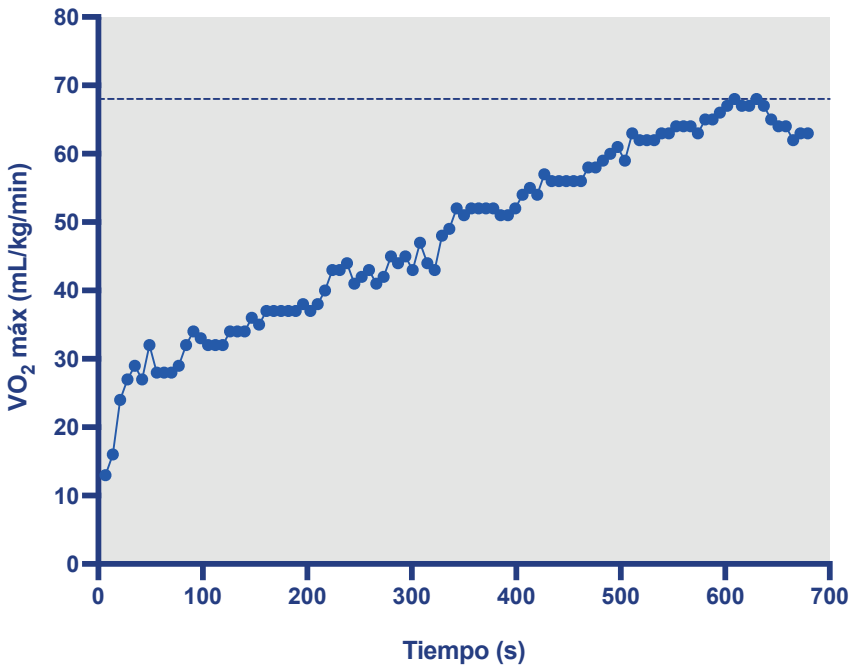



**Figura 2**. Ejemplo de curva de consumo máximo de oxígeno durante una prueba incremental en cicloergómetro.

El valor obtenido del $VO_2$máx. está influenciado por un mecanismo central (cardiovascular y/o pulmonar) y periférico (músculo esquelético), y representa un techo fisiológico referente a la capacidad de captación de $O_2$ alveolar, el transporte de $O_2$ y/o el consumo de $O_2$ a nivel tisular

en respuesta a un aumento en carga de trabajo y demanda metabólica. Actualmente, la prueba de $VO_2$máx. es de suma importancia en el campo de rendimiento deportivo. En deportes de resistencia como carreras de medio fondo y fondo en atletismo, ciclismo y esquí de fondo, un $VO_2$máx. alto es considerado un criterio de rendimiento que determina el éxito deportivo[14]. En otros deportes, como el fútbol y rugby, una alta aptitud cardiorrespiratoria puede ayudar a la recuperación entre los breves esfuerzos de alta intensidad, característicos de estas modalidades [15-17]. Si bien actualmente muchos entrenadores utilizan variables indirectas asociadas al $VO_2$máx. como velocidad, potencia y frecuencia cardíaca para asignar las cargas de entrenamiento en el diseño e implementación de sus programas de entrenamiento, la eficacia de estos para mejorar la capacidad cardiorrespiratoria también se puede determinar mediante la valoración directa del $VO_2$máx., lo que permite individualizar de manera sustancial las cargas de entrenamiento y el monitoreo del rendimiento en las disciplinas en las que esta variable sea determinante.

*Objetivo de la valoración*

La realización de esta prueba proporciona información relevante sobre la capacidad aeróbica del atleta, con el fin de establecer y/o ajustar parámetros de trabajo que respondan a sus objetivos. En este contexto, la obtención de un mayor $VO_2$máx., así como el desplazamiento hacia la derecha de sus umbrales, le permitirá al atleta disponer de una mayor absorción, distribución y utilización del oxígeno, dando como resultado un suministro energético más eficiente, lo cual se verá reflejado posteriormente en mejoras en su rendimiento deportivo.

*Equipamiento y protocolo de valoración*

**Equipo:** analizador de gases con sensor de oxígeno ($O_2$) y de dióxido de carbono ($CO_2$). Es importante tener presente que cada equipo cuenta con su propio manual del usuario en donde se podrá revisar los protocolos de calibración y ajustes.

**Condiciones de laboratorio:** cuando la valoración sea en laboratorio, este debe contar con una ventilación adecuada que permita un flujo

continuo de aire. La temperatura debe oscilar entre 18º y 23ºC y la una humedad relativa debe ser menor al 70%.

**Ajuste del equipo:** en caso de que la valoración se realice en un ergómetro, este se ajustará a las medidas correspondientes para emular el implemento deportivo de la mejor manera posible, y se calibrará según la recomendación de fabricante para asegurar la correcta medición de la carga de trabajó aplicada.

**Calentamiento:** antes de llevar a cabo la valoración, se debe realizar un calentamiento de 10 minutos a una intensidad que permita promover la adaptación previa del atleta al equipo en el cual se realizará el test (ergómetro, tapiz rodante, pista/campo), y no genere fatiga al atleta.

**Desarrollo de la prueba:** la prueba consiste en un protocolo continuo incremental acorde a los criterios sugeridos por el Instituto Australiano del Deporte[6]. En caso de realizar la prueba en un tapiz rodante la velocidad de inicio dependerá de la disciplina del atleta, tendrá incrementos de 1 km/h cada 1 minuto y una pendiente fija de 1.5%[18]. En caso de ser en remo o cicloergómetro, los incrementos de potencia varían acorde a sexo y nivel del atleta, pero como referencia se pueden establecer incrementos de 20 W en mujeres y de 25 W en hombres cada 1 minuto. Posteriormente al término de la prueba, se sugiere realizar una fase de recuperación durante 5 minutos.

*Periodicidad del monitoreo*

La periodicidad del monitoreo variará en función de la especialidad deportiva y de los objetivos de mejora determinados por el cuerpo técnico del atleta, pudiendo variar desde 3 a 12 meses de intervalo entre las valoraciones.

## Determinación de umbrales ventilatorios

Una vez realizada la prueba de consumo de oxígeno y obtenido los resultados del $VO_2$máx. es de gran importancia la determinación de los

umbrales ventilatorios. Podemos definir estos umbrales como los cambios que se manifiestan en los parámetros ventilatorios (e.g., cociente respiratorio, equivalentes ventilatorios y fracción expirada end tidal) frente a un protocolo de ejercicio de carga incremental[19]. Lo anteriormente señalado es un reflejo de múltiples eventos celulares y fisiológicos que están asociados a cambios en el metabolismo de los diferentes sustratos energéticos y el consumo de oxígeno de un atleta. En base a esto es posible llevar a cabo el ajuste de variables asociadas al entrenamiento, y con ello, la posterior ganancia de adaptaciones fisiológicas que reporten un beneficio al rendimiento deportivo[20]. Una vez comenzada la valoración, se puede observar el punto que recibe el nombre de Umbral Ventilatorio 1 (VT1) (**Figura 3**), también denominado Umbral Aeróbico, el cual indica la carga de trabajo a partir de la cual el aporte energético de la vía anaeróbica comienza a incrementarse. Posteriormente, una vez avanzada la valoración, se puede observar un segundo punto que recibe el nombre de Umbral Ventilatorio 2 (VT2) (**Figura 3**), también denominado Umbral Anaeróbico, el cual indica la carga de trabajo a partir de la cual el aporte energético de la vía anaeróbica comienza a incrementarse de manera importante, generando cambios sustanciales a nivel ventilatorio (punto de compensación respiratoria).

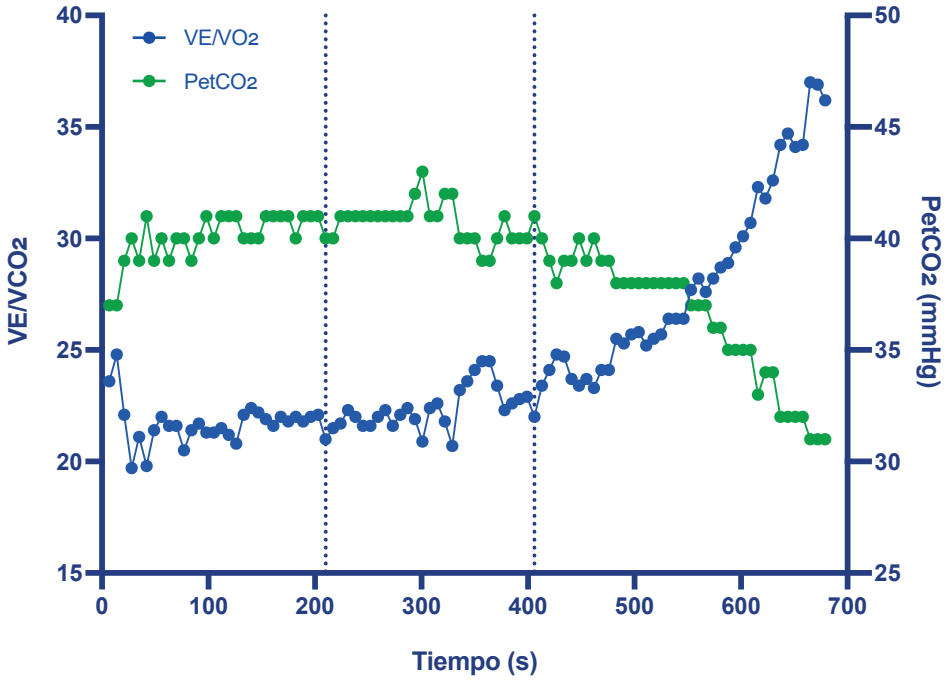



**Figura 3.** Ejemplo de umbrales ventilatorios durante una prueba incremental en cicloergómetro.

*Objetivo de la valoración*

La determinación de VT1 y VT2 es fundamental para la valorización de la capacidad de ejercicio aeróbico ya que en base a esto es posible determinar las zonas de trabajo, lo que permite al equipo técnico llevar a cabo ajustes de las variables asociadas al entrenamiento, y con ello, la posterior ganancia de adaptaciones fisiológicas que reporten un beneficio al rendimiento deportivo.

*Procedimiento de determinación de VT1 y VT2*

El VT1 se determina utilizando los criterios de un aumento tanto del equivalente ventilatorio de oxígeno ($VE/VO_2$) como de la presión de oxígeno al final de la espiración ($PetO_2$), sin un aumento concomitante del equivalente ventilatorio de dióxido de carbono ($VE/VCO_2$). El VT2 se determina utilizando los criterios de una disminución del PetCO2 como también un aumento tanto del $VE/VO_2$ como del $VE/VCO_2$ [19].

*Umbral de lactato*

Durante la práctica deportiva, a medida que se genera un aumento en la intensidad del ejercicio, se pueden observar múltiples eventos celulares y fisiológicos que están directamente relacionados con la transición desde la zona de trabajo aeróbica a la zona anaeróbica, en donde comienza a tomar relevancia el aporte energético de la glicólisis a medida que aumenta la intensidad del ejercicio[21]. Durante esta transición, debido al aumento en la demanda de oxígeno y al estado de máxima capacidad de utilización de éste, se observa un aumento curvilíneo en los niveles de lactato sanguíneo en función de la carga de trabajo[22]. Hoy en día se sabe que la salida del lactato desde la célula muscular hacia el torrente sanguíneo es dependiente de la salida de iones hidrógenos, por lo tanto, en condiciones de alta intensidad, un aumento en las concentraciones sanguíneas de lactato está estrechamente relacionadas con una disminución en el pH, lo que genera un aumento en la ventilación. Por lo tanto, los cambios en la linealidad de la ventilación frente a cargas de trabajo progresivas son un reflejo de

las variaciones en la concentración de lactato sanguíneo, lo cual se denomina **Umbral de Lactato 1 (LT1)** (**Figura 4**). Una vez comenzada la valoración, se puede observar un aumento en la concentración de lactato por sobre los niveles de reposo pero que en general no supera los 2 mmol/L (aunque esto es individual en cada atleta), punto que es relativamente coincidente con **VT1**[23]. Posteriormente, una vez avanzada la valoración, asociada a un aumento en la intensidad de la carga de trabajo, se puede observar un aumento abrupto en la concentración de lactato en sangre que está en torno a los 4 mmol/L (al igual que en el LT1, esto es individual en cada atleta), conocido como **Umbral de Lactato 2 (LT2)** (**Figura 4**), punto que es relativamente coincidente con **VT2**[23].

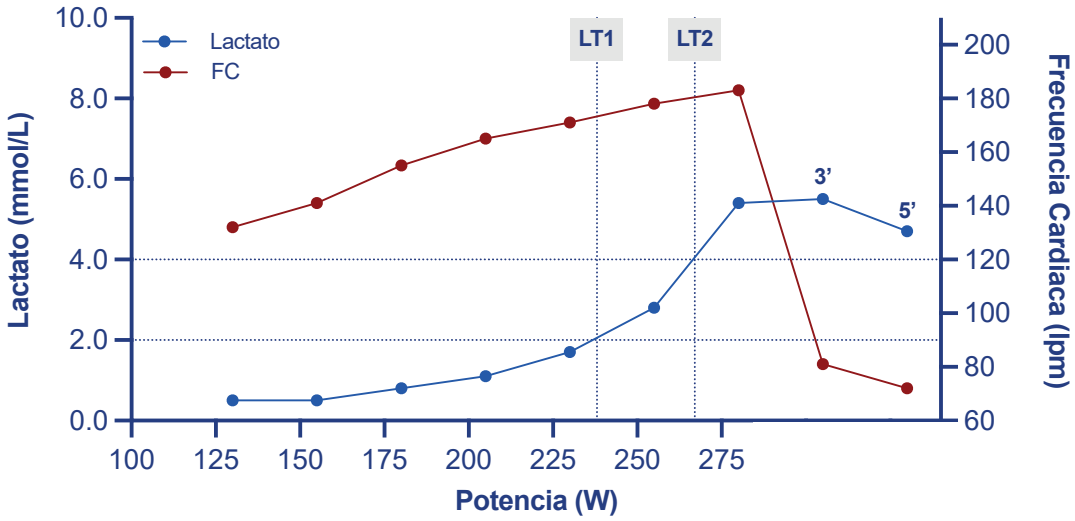



**Figura 4.** Ejemplo de umbrales de lactato durante una prueba incremental en remoergómetro. Se muestran los valores de recuperación a los minutos 3 y 5.

*Objetivo de la valoración*

El objetivo de esta valoración es identificar las cargas de trabajo a la cual se encuentran los umbrales de lactato. En este contexto, para un buen rendimiento en competencia, como también para un buen desarrollo del entrenamiento, es de gran ayuda determinar la intensidad de ejercicio a la cual el atleta presenta sus LT ya que esto le permitirá al

equipo técnico conocer el nivel de rendimiento y a su vez controlar las cargas de entrenamiento por medio de las zonas de entrenamiento.

*Equipamiento y protocolo de valoración*

**Equipo:** medidor de lactato en sangre y sus tiras reactivas correspondientes acorde a indicaciones del proveedor del equipo. Es importante tener presente que cada equipo cuenta con su propio manual del usuario en donde se podrá revisar los protocolos de calibración y ajustes.

**Condiciones de laboratorio:** en caso de realizarse en laboratorio, éste debe contar con una ventilación adecuada que permita un flujo continuo de aire. La temperatura debe oscilar entre 18º y 23ºC y la una humedad relativa debe ser menor al 70%.

**Ajuste del equipo:** en caso de que la valoración se realice en un ergómetro, este se ajustará a las medidas correspondientes para emular el implemento deportivo de la mejor manera, y se calibrara según la recomendación de fabricante para asegurar la correcta medición de la carga de trabajó aplicada.

**Calentamiento:** antes de llevar a cabo la valoración, se debe realizar un calentamiento de 15 minutos en el equipo en el cual se realizará el test (ergómetro o tapiz rodante), para promover la adaptación previa del atleta al equipo. La velocidad o potencia será individual acorde a nivel y disciplina del atleta.

**Desarrollo de la prueba:** la valoración consiste en un protocolo de carga progresiva escalonado. La velocidad o potencia de inicio será individual acorde a nivel y disciplina del atleta. Los incrementos de velocidad serán de 1 km/h cada 3 minutos. Los incrementos de potencia varían acorde a sexo y nivel del atleta, pero como referencia se pueden establecer incrementos de 20 W en mujeres y de 25 W en hombres cada 3 minutos[6]. En caso de ser tapiz rodante, se mantendrá una pendiente fija de 1.5%[18].

**Toma de muestra:** una vez iniciada la valoración, cada 3 minutos se debe realizar una extracción de muestra de sangre capilar desde la yema de los dedos del atleta (en caso de ser en piscina, la toma de muestra se realiza en oreja), medir rápidamente en el equipo de lactato y registrar. Posteriormente al término de la prueba, se sugiere realizar una fase de recuperación durante 5 minutos.

*Periodicidad del monitoreo*

Al igual que en la valoración del Consumo Máximo de Oxígeno, la periodicidad del monitoreo variará en función de la espacialidad deportiva y de los objetivos de mejora determinados por el cuerpo técnico del atleta, pudiendo variar desde 3 a 12 meses de intervalo entre las valoraciones.

## Máximo estado estable de lactato

Durante el ejercicio de alta intensidad, el aumento en la concentración de lactato sanguíneo es debido a que la remoción del lactato a sido superada por la producción del mismo[22], lo cual es un indicador de la transición de zona aeróbica/anaeróbica. En este contexto, surge la necesidad de determinar con mayor precisión la carga a la cual ocurre esta transición, tomando relevancia la valoración del Máximo Estado Estable de Lactato (MEEL o MLSS de *maximal lactate steady state*). Por definición, el MEEL se establece cuando existe una diferencia menor a 1 mmol/L de lactato sanguíneo entre el minuto 10 y el minuto 30 durante una prueba continua a carga constante[24] (**Figura 5**). No obstante, se ha propuesto que atletas que tienes valores altos de MEEL (e.g., valores mayores a 6 mmol/L) requieren de 15-20 minutos para encontrar un estado estable en el metabolismo del lactato[25]. Por lo tanto, el MEEL es una valoración muy útil para el equipo técnico ya que los resultados obtenidos le permitirán predecir las cargas máximas de trabajo sostenible de los atletas[24,25].

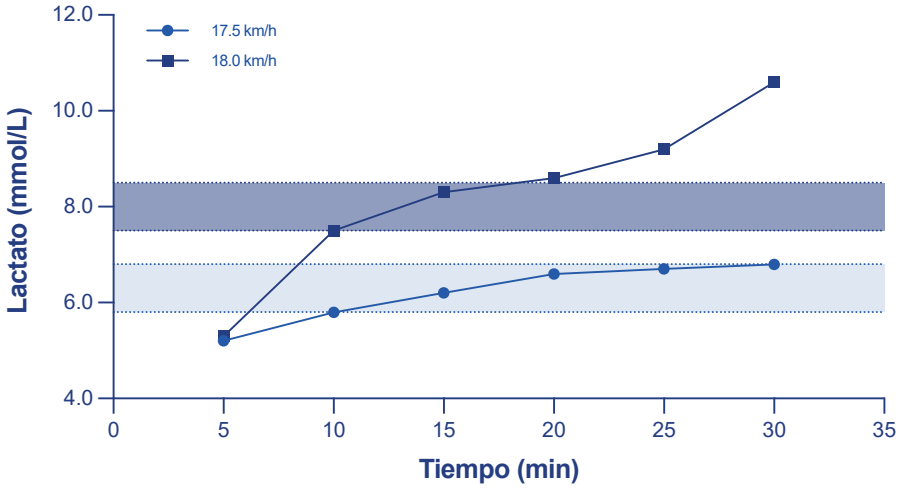



**Figura 5**. Ejemplo de máximo estado estable de lactato durante una prueba continua en treadmill.

*Objetivo de la valoración*

Esta prueba tiene como objetivo monitorea los niveles de lactato en sangre durante un tiempo prolongado de tiempo, hasta identificar la carga de trabajo más alta a la cual los niveles de lactato se mantienen estables en sangre.

*Equipamiento y protocolo de valoración*

**Condiciones de laboratorio:** en caso de realizarse en laboratorio, éste debe contar con una ventilación adecuada que permita un flujo continuo de aire. La temperatura debe oscilar entre 18º y 23ºC y la una humedad relativa debe ser menor al 70%.

**Calentamiento:** antes de llevar a cabo la valoración, se debe realizar un calentamiento de 15 minutos en el equipo en el cual se realizará el test (ergómetro o tapiz rodante), para promover la adaptación previa del atleta al equipo.
**Desarrollo de la prueba:** la prueba consiste en el desarrollo de un protocolo continuo, de 30 minutos de duración. En caso de ser en tapiz rodante, este debe tener una pendiente fija de 1.5%[18]. Se deben tomar 3 muestras de sangre a intervalos de 10 minutos para medir el lactato en sangre. Para determinar la velocidad de inicio, se utiliza como referencia

la carga de trabajo a la cual fue determinado el VT2 en las valoraciones anteriores. En caso de no tener valores objetivos de referencia, se deben estimar en conjunto con el cuerpo técnico acorde a parámetros de entrenamiento.

**Toma de muestra:** una vez iniciada la prueba, se realiza una extracción de muestra de sangre capilar desde la yema de los dedos del atleta cada 10 minutos. Medir rápidamente en el equipo de lactato y registrar. Posteriormente al término de la prueba, se sugiere realizar una fase de recuperación durante 5 minutos.

*Periodicidad del monitoreo*

Al igual que en la valoración del Consumo Máximo de Oxígeno y Umbrales de Lactato, la periodicidad del monitoreo variará en función de la espacialidad deportiva y de los objetivos de mejora determinados por el cuerpo técnico del atleta, pudiendo variar desde 3 a 12 meses de intervalo entre las valoraciones.

Como resumen de estas valoraciones, es importante mencionar que permiten monitorear diferentes criterios de rendimiento y establecer zonas de entrenamiento para ajustar cargas de manera individualizada (**Figura 6**).

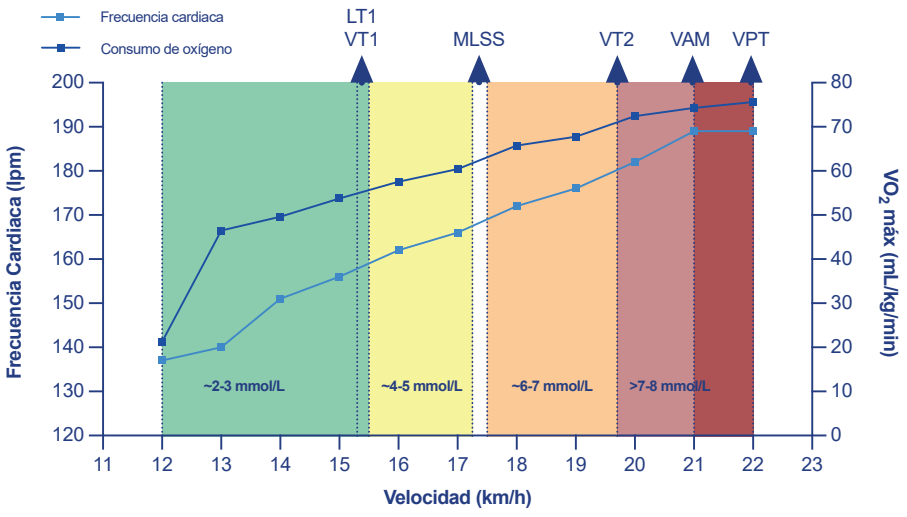



**Figura 6**. Zonas de entrenamiento y criterios de rendimiento aeróbico a monitorear en atletas.

# Cinética del consumo de oxígeno como predictor de rendimiento

Los determinantes fisiológicos del rendimiento en eventos de resistencia (i.e., *endurance*) han sido ampliamente investigados. Un enfoque más común para definir los criterios del rendimiento es seleccionar parámetros de la función fisiológica derivados de valoraciones de laboratorio o campo (e.g., $VO_2$máx., umbral de lactato, eficiencia/economía) y realizar asociaciones con una medida de rendimiento, como el tiempo para completar el evento o la producción media de potencia. Se ha observado que la producción media de potencia o el consumo de oxígeno a umbral de lactato está fuertemente asociado con el rendimiento de resistencia. No obstante, estos estudios no proporcionan una razón por la cual, por ejemplo, la producción de potencia umbral de lactato "determina" el rendimiento de resistencia. Se ha propuesto que ninguno de los parámetros antes mencionados "determina" el rendimiento de resistencia, ni tampoco ningún otro tipo de rendimiento deportivo, sino que estos parámetros "tradicionales" son importantes porque determinan el carácter de la cinética del $VO_2$ durante el ejercicio y le imponen restricciones. La cinética, a su vez, determina la tasa instantánea de transferencia de energía aeróbica y anaeróbica, la mezcla y cantidad de sustrato utilizado y la duración tolerable del ejercicio. En este sentido, se sugiere que solo apreciando cómo los parámetros "tradicionales" de la función fisiológica interactúan con la cinética del $VO_2$ pueden entenderse verdaderamente los determinantes fisiológicos del rendimiento deportivo[26].

Después de señalar el comienzo de una competencia, un atleta acelerará desde una posición estacionaria hasta el ritmo de carrera requerido en unos pocos segundos. Dependiendo de la distancia (y duración) de la carrera y del estado de entrenamiento del atleta, la tasa de renovación de ATP en las células musculares en contracción podría aumentar hasta 100 veces durante estos primeros segundos. Para evitar una reducción desastrosa en la concentración de ATP en el músculo esquelético y un agotamiento casi inmediato, el ATP se resintetiza mediante una

aceleración tanto de la reacción de la creatina quinasa, con la consiguiente reducción en la concentración de fosfocreatina, como de la tasa glucolítica, lo que resulta en el aumento de la producción de lactato y $H^+$. Simultáneamente, los cambios en el potencial de fosforilación muscular (e.g., ATP reducido, ADP y Pi aumentados) son comunicados a las mitocondrias, estimulando un incremento en la tasa de fosforilación oxidativa (y por tanto de $VO_2$). El "impulso" a este último depende de la diferencia entre el $VO_2$ instantáneo y el $VO_2$ "requerido", asumiendo que el "estado estable" actual de la tasa de recambio de ATP puede coincidir con precisión con el suministro de ATP a través del metabolismo oxidativo. La consecuencia necesaria de esto es el aumento exponencial característico del $VO_2$ desde la línea de base previa al ejercicio hasta (o hacia) el $VO_2$ en estado estable requerido. La magnitud del "déficit de $O_2$" y, por lo tanto, el grado de contribución de la fosforilación a nivel del sustrato y las perturbaciones concomitantes a la homeostasis muscular, es una función de la amplitud de la respuesta del $VO_2$ ($VO_2$ en estado estable menos $VO_2$ justo antes del comienzo del ejercicio) y la "constante de tiempo" del $VO_2$ (un parámetro que describe la velocidad a la que aumenta el $VO_2$ hacia el estado estable). Para la misma amplitud de $VO_2$, una constante de tiempo más corta (e.g., 20 s, lo que lleva al logro de un estado estable en 80 s) resultará en un déficit de $O_2$ de un 50% más pequeño en relación a una constante de tiempo más larga (e.g., 40 s, lo que lleva a un estado estable en 160 s)[27]. Por lo tanto, una respuesta cinética de $VO_2$ más rápida puede ser importante para el rendimiento al reducir el déficit de oxígeno inicial y, por lo tanto, la acumulación concomitante de subproductos fatigantes. Por lo tanto, hay un control metabólico más estricto, de modo que se alcanza el mismo $VO_2$ con menos perturbación de los potenciales de fosforilación y redox[28].

Al ser esta una Valoración Secundaria (busca propiciar la maestría deportiva de los atletas), sólo hacemos notar su importancia; por lo tanto, el protocolo de valoración no será descrito en esta versión de los lineamientos. **La Figura 7** muestra un ejemplo de Valoración de Cinética de Consumo de Oxígeno en un atleta de resistencia de medio fondo. Se puede observar que en las últimas dos repeticiones el consumo de oxígeno disminuye después de alcanzar el valor máximo, lo que indica

una incapacidad de mantener esta variable durante toda la carrera, recurriendo al metabolismo anaeróbico para mantener la tasa de energía para la intensidad requerida (**Figura 7B**). Esto es especialmente evidente en la última repetición, existiendo una disminución de un 4.2% entre el valor peak y el valor final durante la última repetición.

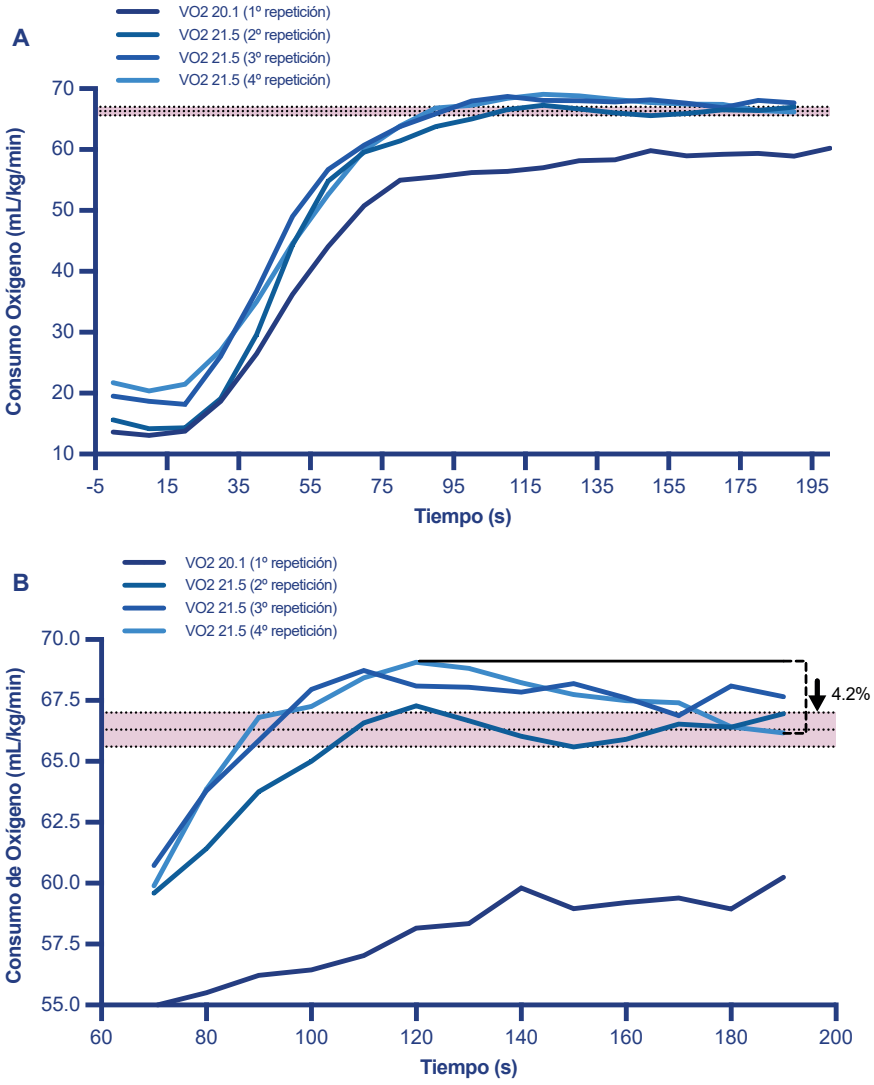



**Figura 7.** A) cinética completa de consumo de oxígeno, B) cinética de consumo de oxígeno durante los últimos ~2 minutos de las repeticiones a velocidad umbral y de carrera en pista. La zona sombreada representa el error típico del sistema de evaluación relacionada a los valores de la primera repetición a velocidad de carrera (2º repetición).

# Test de Wingate

La **potencia anaeróbica** es la tasa máxima de trabajo que se puede lograr. Por lo general, se mide en watts (W) o se refleja como una velocidad máxima de movimiento. La potencia anaeróbica depende de la masa muscular involucrada en la actividad, el reclutamiento neuromuscular y la relación entre potencia y masa corporal que influye en la aceleración para obtener la máxima velocidad de carrera, natación o ciclismo. La potencia máxima generada durante 1 segundo indica potencia anaeróbica. La **capacidad anaeróbica** es la cantidad máxima de trabajo de alta intensidad que se puede realizar. Normalmente, se cuantifica en unidades de trabajo como kilojulios (kJ). El trabajo tiende a depender de la cantidad total de fosfatos de alta energía almacenados en el músculo esquelético y de la capacidad para resistir los productos de desecho metabólicos producidos durante el ejercicio de alta intensidad. La cantidad de trabajo acumulado durante 30 segundos indica capacidad. La potencia anaeróbica se refiere a la tasa máxima de flujo de energía o la potencia mecánica máxima producida durante el ejercicio de alta intensidad. Por otro lado, la capacidad anaeróbica se refiere a la cantidad total de trabajo de alta intensidad alimentado por sistemas de producción de energía independientes del oxígeno. Aunque a menudo están vinculados, la potencia y la capacidad anaeróbicas pueden ser rasgos de aptitud física independientes. Por ejemplo, un remero podría mejorar su capacidad anaeróbica (promedio de 30 segundos) sin mejorar la potencia anaeróbica (potencia en 1 segundo)[29]. En la década de 1970 se buscó la manera de medir esta variable a través de alguna prueba sencilla y confiable, comprendiendo que la de cantidad potencia generada en la prueba nos entrega información valida respecto a la capacidad anaeróbica de un atleta. La prueba Wingate fue desarrollada por Aylon, Ibar, Bar-Or en 1974, con el fin de medir la potencia y la capacidad anaeróbica del tren inferior pensado para deportes que requieren de capacidades cómo el desarrollo de la velocidad y potencia[30,31]. Posteriormente, la Universidad de Wolverhampton en Reino unido desarrolló el test de RAST (de Running-based Anaerobic Sprint Test) el cual obtiene la misma

valoración, pero desde la carrera (sprint) en vez del uso de un cicloergómetro[32,33]. La prueba Wingate fue desarrollada en cicloergómetro ajustando la carga relativa al peso corporal del sujeto, y ha sido considerada cómo la prueba Gold Standard para medir potencia y la capacidad anaeróbica.

*Objetivo de la valoración*

Valorizar la potencia y la capacidad anaeróbica del tren inferior mediante el análisis de la potencia generada durante los 30 segundos de duración de la prueba. Además, se puede determinar el índice de fatiga a través del valor de potencia peak y el valor de potencia más bajo obtenido.

*Equipamiento y protocolo de valoración*

**Equipo:** cicloergómetro con freno mecánico o magnético que permita establecer un freno constante de manera automática.

**Calentamiento:** para comenzar la prueba, se sugiere comenzar con un calentamiento de 10 min a 20% de la carga utilizada en la prueba, pasando por 3 sprint de 5 segundos con el fin de activar la musculatura involucrada en la prueba. Posteriormente al calentamiento, el atleta debe realizar una pequeña sesión de estiramientos de la musculatura involucrada en la prueba.

**Ajuste de la carga:** la carga utilizada corresponde a 0.075 kg por kg de peso corporal[31].

**Desarrollo de la prueba:** una vez ajustada la carga, el atleta comienza a realizar una cuenta regresiva de 10 segundos donde los primeros 5 segundos corresponden a un ritmo de cadencia cómoda, los siguientes 5 segundos el atleta debe comenzar a realizar la máxima cadencia posible con 1/3 de la carga que será utilizada en la prueba, 1 segundo antes de comenzar se agrega la carga real para la prueba y el atleta debe sostener

la mayor intensidad de cadencia posible durante 30 segundos. Posteriormente al término de la prueba, se sugiere realizar una fase de recuperación durante 5 minutos con carga libre.

**Consideraciones:** el atleta no debe levantarse de su asiento a no ser que corresponda a disciplinas deportivas que involucren ciclismo cómo por ejemplo triatlón, ciclismo de ruta, ciclismo contra reloj, entre otros.

*Periodicidad del monitoreo*

En función al continuo energético, es posible observar mejoras considerables posteriores a la aplicación de 4 semanas de entrenamiento. Por lo tanto, es posible realizar esta prueba mensualmente, sin embargo, debido a la alta exigencia de esta prueba, se recomienda considerar la programación del entrenamiento con el fin de evitar la sobrecarga en el atleta[34].

## Test de RAST

*Objetivo de la valoración*

Valorar la potencia y la capacidad anaeróbica del tren inferior mediante el análisis de la potencia generada durante los 30 segundos de duración de la prueba. Además, se puede determinar el índice de fatiga a través del valor de potencia peak y el valor de potencia más bajo obtenido.

*Equipamiento y protocolo de valoración*

El equipo requerido es un sistema automático de toma de tiempos (Fotocélulas) y una distancia no menor a 50 m, se debe registrar el peso de los atletas para poder realizar los cálculos de potencia. Para comenzar la prueba, se sugiere comenzar con un calentamiento de 10 min a moderada intensidad, realizando 3 sprint sub-máximos de 5 segundos con el fin de activar la musculatura involucrada en la prueba.

Posteriormente al calentamiento, el atleta debe realizar una pequeña sesión de estiramientos de la musculatura involucrada en la prueba. El atleta realizará 6 sprint maximales de 35 m con 10 segundos de pausa entre cada sprint y se registrará el tiempo realizado en cada uno de ellos.

*Periodicidad del monitoreo*

En función al continuo energético, es posible observar mejoras considerables posteriores a la aplicación de 4 semanas de entrenamiento. Por lo tanto, es posible realizar esta prueba mensualmente, sin embargo, debido a la alta exigencia de esta prueba, se recomienda considerar la programación del entrenamiento con el fin de evitar la sobrecarga en el atleta[34].

## Aporte del Área de Fisiología Deportiva a la Planificación y Monitoreo de Cargas de Entrenamiento

De lo descrito en las valoraciones propuestas anteriormente, se pueden determinar variables como $VO_2$máx., Velocidad o Potencia Máxima asociada al $VO_2$máx. (i.e., VAM/PAM), Velocidad o Potencia asociadas a Umbrales Ventilatorios (i.e., p/vVT1 / p/vVT2), Velocidad o Potencia Máxima y Reserva Anaeróbica. Estas, en conjunto con el perfil del deporte, permitirán la óptima planificación del entrenamiento de las zonas de la capacidad aeróbica[35] (**Figura 8**) y del entrenamiento tipo HIIT[36] (ver **Figura 9**).

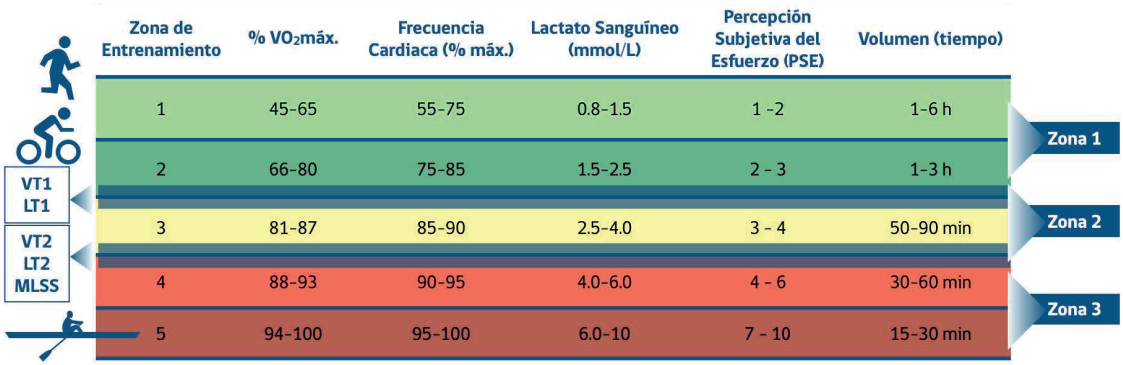



**Figura 8.** Escalas típicas de 3 y 5 zonas para prescribir y monitorear el entrenamiento aeróbico en atletas (Adaptada de Seiler y Tønnessen 2009)[35].

Es importante mencionar que los entrenamientos de tipo HIIT requieren ser planificados acorde a los objetivos fisiológicos deseados. Una vez que se entienda la importancia de la preparación física para el deporte/disciplina se deben analizar: (i) las demandas físicas del deporte, (ii) perfil (es) del atleta, (iii) objetivos de adaptación a largo plazo, y (iv) período y fluctuación temporal (diaria, semanal, temporada) del plan de entrenamiento, considerando el calendario de eventos. Todos estos factores se fusionan para definir los objetivos fisiológicos deseados de la sesión. Lo anterior permite elegir adecuadamente entre los cinco formatos HIIT (**Figura 9** y **Tabla 1**).

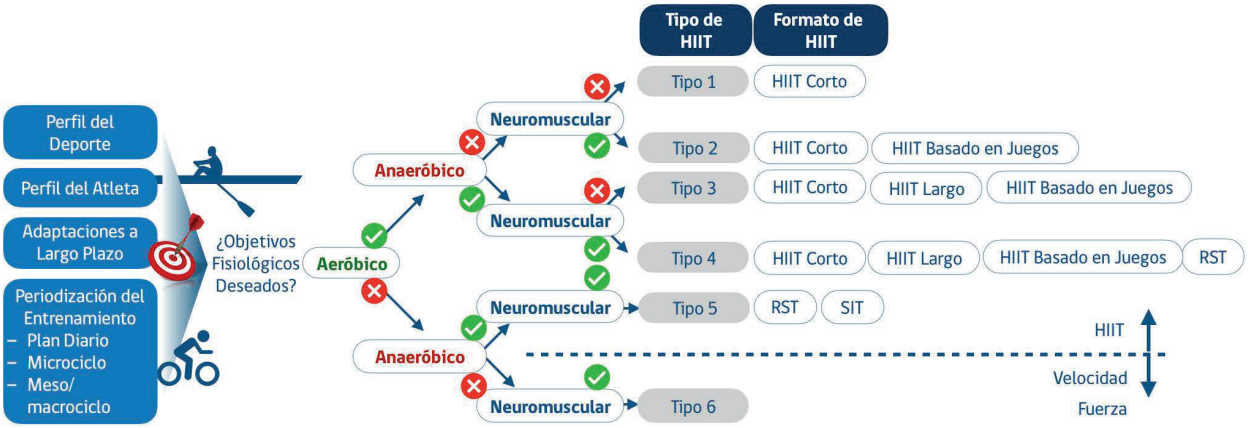



**Figura 9.** Factores para determinar el tipo de HIIT según objetivos fisiológicos (Adaptada de Laursen y Buchheit 2019)[36].

Para la planificación de los diferentes tipos de HIIT (ver **Tabla 1**), se pueden manipular hasta 12 variables, ajustándose según los objetivos fisiológicos deseados[36] (**Figura 10**). Independientemente si se va a entrenar a un ciclista de élite en una bicicleta, a un remero en remoergómetro o si se va a preparar a un jugador de balonmano o hockey césped para sobresalir en la cancha, el objetivo siempre deberá intentar responder las siguientes preguntas: ¿cuál es la mejor manera de "pelar al gato" cuando se trata de planificar el entrenamiento con el objetivo de maximizar el potencial de rendimiento? Es decir, ¿cuál es la mejor manera de darle forma a la pieza del rompecabezas, en términos

de duración, intensidad y formato HIIT, para que encaje en el rompecabezas del desarrollo del rendimiento? ¿se optimiza el desarrollo a largo plazo y el rendimiento a futuro? Este conocimiento significa que se pueden tomar decisiones mejor informadas cuando seleccionamos nuestras estrategias de entrenamiento y las ajustamos de acuerdo con cómo funcionan para alcanzar mejor nuestros tres objetivos fisiológicos. Se debe tener en cuenta que no hay una sola manera de lograr un cierto tipo de objetivo con el HIIT, existiendo seis combinaciones de objetivos claves para mejorar los sistemas relacionados[36] (**Tabla 1**).

**Tabla 1**. Respuestas agudas según tipo de HIIT (Adaptada de Laursen y Buchheit 2019)[36]

| Respuestas metabólicas y neuromusculares al HIIT | |
|---|---|
| **Tipo 1** | Metabólico, estimulando principalmente el sistema cardiopulmonar y las fibras musculares oxidativas. |
| **Tipo 2** | Metabólico como el tipo 1, pero con cierto grado de estimulación neuromuscular. |
| **Tipo 3** | Metabólico como el tipo 1, pero con un alto grado de aporte de energía glucolítica anaeróbica. |
| **Tipo 4** | Metabólico (oxidativo / anaeróbico) como el tipo 3 más un cierto grado de estimulación neuromuscular. |
| **Tipo 5** | Esencialmente una gran contribución anaeróbica combinada con estimulación neuromuscular. |
| **Tipo 6** | Esencialmente una gran estimulación neuromuscular, con contribución metabólica limitada (oxidativa / anaeróbica). |

En función de lo anterior y acorde a las variables a manipular, la intensidad y duración del trabajo junto con los intervalos de descanso son los principales factores a considerar. Dada la variabilidad individual en términos de capacidad aeróbica y anaeróbica, la intensidad del intervalo (particularmente de los HIIT de corta duración) debe ser planificada considerando una combinación de parámetros de capacidad aeróbica ($VO_2$máx.) y anaeróbica (reserva anaeróbica de la potencia/velocidad) individuales. El número de intervalos y de series, y la duración e intensidad de recuperación entre series darán cuenta del trabajo total realizado. La modalidad de ejercicio (i.e., carrera versus

ciclismo o remo, en plano versus pendiente, lineal versus multidireccional, superficie del suelo, entre otros) representa una variable interesante a considerar, especialmente para atletas de equipo o raqueta. Finalmente, tanto los factores ambientales (temperatura, humedad, presión parcial de oxígeno, entre otros) como nutricionales, son aspectos adicionales que pueden manipularse para afectar la respuesta fisiológica aguda. Mientras más variables se manipulan simultáneamente, más difícil de predecir se vuelve el resultado final.

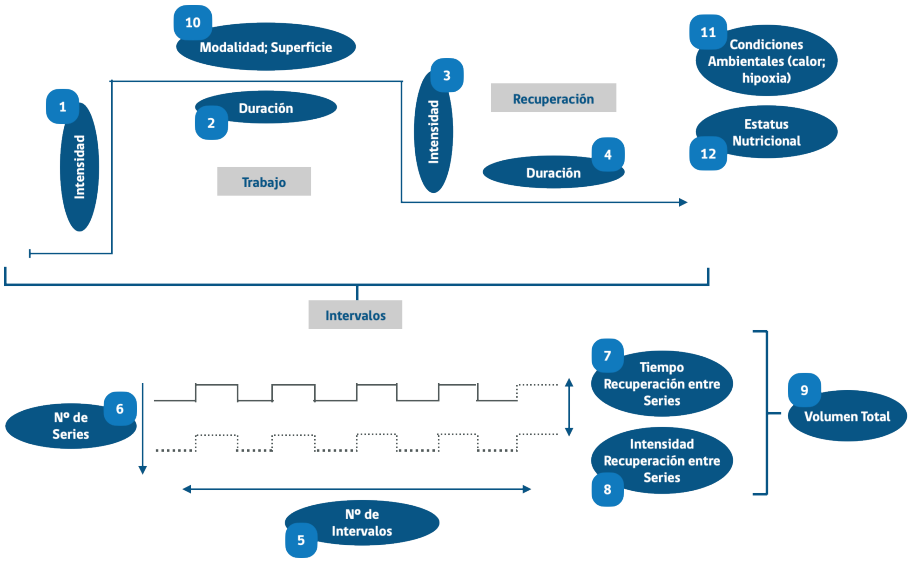



**Figura 10.** Variables a definir y manipular en una sesión de HIIT (Adaptada de Laursen y Buchheit 2019)[36].

Se han desarrollado varios enfoques para prescribir el entrenamiento en intervalos de alta intensidad (HIIT) con el objetivo de garantizar que los atletas alcancen la intensidad de ejercicio requerida en sus sesiones de entrenamiento de una manera algo controlada e individualizada. Si bien los parámetros durante valoraciones incrementales en laboratorio pueden ser la forma más precisa de calibrar una sesión HIIT, una serie de herramientas y métodos de análisis basados en el campo también pueden ser prácticos, objetivos y efectivos para lograr el objetivo deseado. Estas herramientas pueden incluir una prescripción basada en la percepción subjetiva del esfuerzo (PSE), la velocidad aeróbica máxima o basado en la potencia output, la velocidad obtenida en la prueba 30-15$_{IFT}$, medidas de reserva de velocidad/potencia anaeróbica, entrenamiento de velocidad máxima, enfoques de deportes de campo o de equipo y también enfoques basados en la frecuencia cardíaca. La

**Figura 11** describe distintas propuestas de planificación de sesiones de HIIT acorde a algunos de estos parámetros.

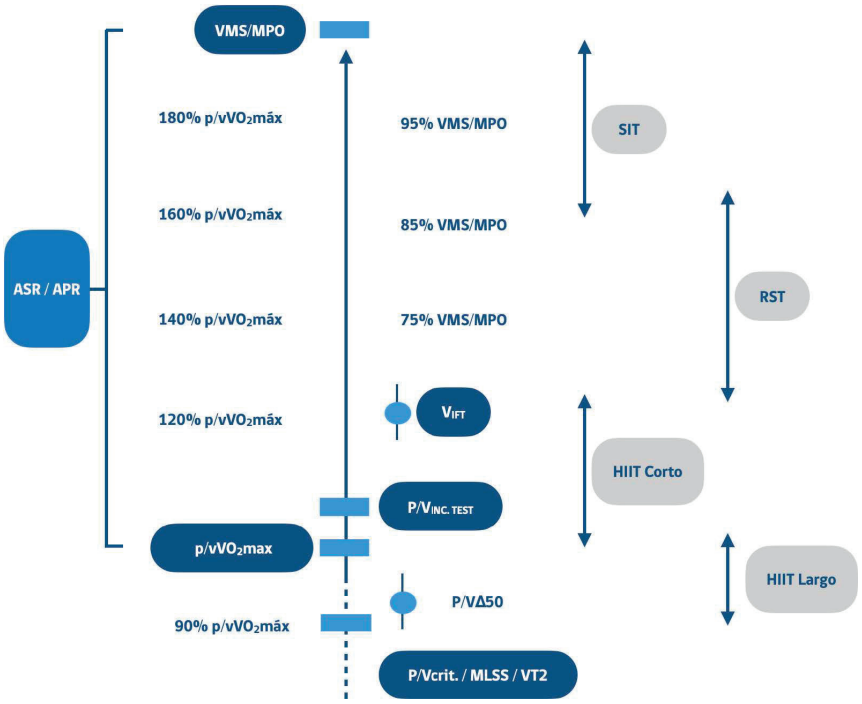



**Figura 11.** Rangos de intensidades en distintos protocolos de HIIT. ASR: reserva anaeróbica de velocidad; APR: reserva anaeróbica de potencia; MLSS: máximo estado estable del lactato; VMS: velocidad máxima de sprint; MPO: máxima potencia output; RST: repeated-sprint training; SIT: sprint interval training; VO2máx: consumo máximo de oxígeno; p/vVO2máx: potencia/velocidad mínima para alcanzar el VO2máx; P/VΔ50: potencia/velocidad entre MLSS y VO2máx; $P/V_{crit}$: potencia/velocidad crítica; $V_{IFT}$: velocidad máxima alcanzada al final de la prueba de Fitness Intermitente 30-15; $P/V_{Inc.\ test}$: potencia/velocidad máxima en prueba incremental (Adaptada de Laursen y Buchheit 2019)[36].

La medida distintiva de la función del sistema aeróbico es el VO2máx., considerado un proxy de la máxima función locomotora aeróbica y altamente relacionado con el rendimiento del ejercicio de *endurance*. En este sentido, cuánto tiempo se puede realizar ejercicio en VO2máx., referido como T a VO2máx. (o Tmáx.), se convierte en una medida que se puede utilizar para monitorear cómo la manipulación de diferentes variables HIIT afecta la respuesta oxidativa aguda. El principio de especificidad sugiere que si el VO2máx. es importante, entonces tiene sentido trabajar en estrategias que permitan la acumulación de T a VO2máx. Intensidades de trabajo cercanas a p/v $VO_2$máx. son necesarias

para obtener una respuesta máxima de $VO_2$, respuestas que se describen típicamente durante un solo ejercicio de velocidad o potencia constante, lo cual no siempre es aplicable a la naturaleza repetida del ejercicio de entrenamiento a intervalos. El concepto de optimización de la duración del intervalo en relación a lograr el mayor tiempo posible a $VO_2$máx. es muy importante. Si el $VO_2$máx. es alcanzado durante el primer intervalo de una secuencia, su duración del intervalo debe ser al menos igual al tiempo necesario para alcanzar $VO_2$máx. Por lo tanto, con intervalos cortos, como durante las sesiones típicas de HIIT (duración del intervalo de trabajo <tiempo necesario para alcanzar $VO_2$máx.), el $VO_2$máx. generalmente no se alcanza en el primer intervalo. Así, es importante considerar las estrategias necesarias para maximizar el T a $VO_2$máx. dentro de un período de tiempo dado o para definir formatos HIIT eficientes en el tiempo con respecto al ratio entre el T a $VO_2$máx. y el tiempo de ejercicio. Es decir, necesitamos determinar el mayor T a $VO_2$máx. que se puede lograr dentro de la duración total de la sesión HIIT, sin incluir el calentamiento. En ausencia de las mejores prácticas o pautas científicas, el tiempo de ejercicio total objetivo del HIIT de intervalo corto se puede definir utilizando tanto el T a $VO_2$máx. como el ratio entre el T a $VO_2$máx. y el tiempo de ejercicio[36] (**Figura 12**).

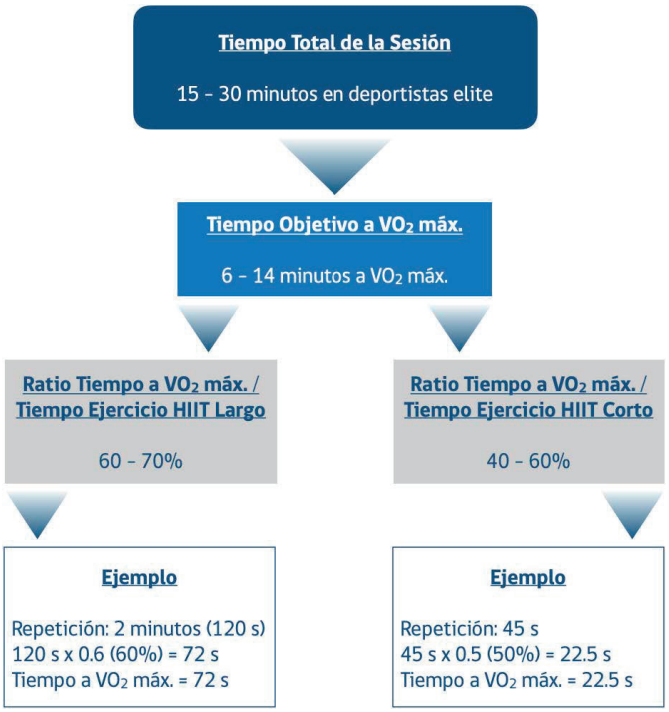



**Figura.** Proceso utilizado para definir el tiempo objetivo a VO2 máximo durante un HIIT con intervalos largos o cortos (Adaptada de Laursen y Buchheit 2019)[36].

Mientras que los sistemas cardiorrespiratorio y oxidativo celular, y en menor medida la desoxigenación muscular, tienden a ser las principales variables de interés para comprender el diseño del formato HIIT, el aporte de energía glucolítica anaeróbica es otro factor importante a considerar. Si bien la plasticidad o capacidad para cambiar la capacidad del sistema de energía anaeróbico con HIIT parece ser menor en comparación con el sistema aeróbico, la contribución de energía anaeróbica al ejercicio de alta intensidad puede cambiar más debido a la capacidad mejorada del sistema neuromuscular, involucrando un mayor número de unidades motoras más grandes, incluidas más fibras musculares de contracción rápida. Con el objetivo de poder monitorear la contribución de la energía glucolítica durante diferentes formas de HIIT, se pueden utilizar los valores de lactato post-HIIT y la tasa inicial de acumulación de lactato en sangre en los primeros 5 minutos de ejercicio (**Tablas 2 y 3**)[36]. Así, el lactato en sangre puede ser de gran utilidad para controlar la carga de entrenamiento en sesiones HIIT.

**Tabla 2**. Categoría acorde a la tasa de acumulación inicial de 5 min durante HIIT.

| Categoría | Duración Trabajo |
|---|---|
| Fuertemente Aeróbico | <3 mmol/L/5min |
| Aeróbico | >3 mmol/L/5min |
| Moderadamente Aeróbico | >4 mmol/L/5min |
| Anaeróbico | >5 mmol/L/5min |
| Fuertemente Anaeróbico | >6 mmol/L/5min |

**Tabla 3**. Categoría acorde a niveles de lactato sanguíneo post HIIT.

| Categoría | Duración Trabajo |
|---|---|
| Muy Bajo | <3 mmol/L |
| Bajo | 3-6 mmol/L |
| Moderado | 6-10 mmol/L |
| Alto | 10-14 mmol/L |
| Muy Alto | >14 mmol/L |

Por último, es importante tener en cuenta los posibles efectos de interferencia que puedan darse con la planificación de entrenamiento concurrente (i.e., entrenamiento simultáneo de varias cualidades físicas durante un mesociclo: fuerza y resistencia)[5,29]. Si bien existe un efecto beneficioso del entrenamiento de la fuerza en atletas de endurance[37,38], se ha planteado que el entrenamiento aeróbico puede interferir en las adaptaciones relacionadas al entrenamiento de la fuerza. Se han propuesto dos tipos de interferencia: (i) la interferencia aguda (o neural), y (ii) la interferencia crónica (o molecular) (ver **Figura 13**). No obstante, la evidencia de interferencia molecular se ha descrito principalmente en modelos animales o celulares, y no ha sido corroborada o consistente en humanos[39]. Por otro lado, la interferencia neural se asocia a un efecto de fatiga residual que pudiera ejercer el entrenamiento aeróbico. Esto puede darse como efecto de sesiones en días previos como también si se realiza el mismo día antes que la sesión de fuerza, lo que daría como resultado una menor calidad del entrenamiento de la fuerza y, por lo tanto, menores adaptaciones neuromusculares a largo plazo[40,41].

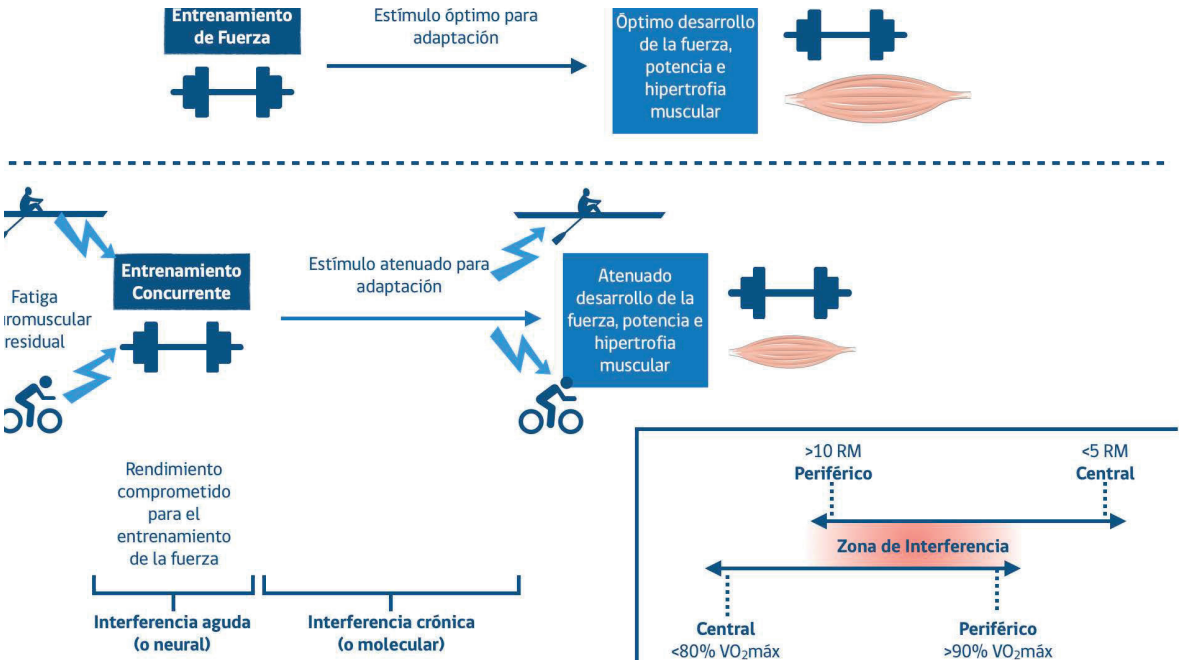



**Figura 13.** Marco Conceptual Relacionado a Potenciales Mecanismos para el Efecto de Interferencia (Adaptada de Laursen y Buchheit 2019; Joyce y Lewindon 2021)[29,36].

## Pilar de Prevención de Lesiones y Enfermedades

Uno de los objetivos de nuestro laboratorio es desarrollar actividades y procedimientos sistemáticos que permitan la identificación de factores de riesgo asociados al deporte, con la finalidad de generar la retroalimentación necesaria para la toma de medidas preventivas. Para lograr esto se han establecido una serie de acciones, las cuales son:

## Parametrización de la Información y Cruce de Datos

Esta acción se basa en la recopilación y análisis de la información entregada por el cuerpo técnico, referente a la planificación del entrenamiento (intensidades, volúmenes, cargas, series y repeticiones). Estos antecedentes son de suma importancia para lograr establecer una relación entre las características de la planificación y la respuesta generada por el atleta en una determinada periodización[42], adicionando a esto el monitoreo de los resultados de las valoraciones realizadas por el Área de Fisiología Deportiva. Esto posibilita entregar una valiosa información que permita, posteriormente, tomar las decisiones adecuadas para prevenir la aparición de lesiones o enfermedades que puedan afectar el proceso de entrenamiento, evitando así un desmedro en el rendimiento del atleta.

## Pilar de Evidencia Diagnostica, Rehabilitación y Reintegro Deportivo

Uno de los objetivos de nuestro laboratorio es apoyar el proceso de búsqueda de las posibles causas que puedan explicar la persistencia de una lesión, cuadro doloroso o enfermedad que afecten el normal desempeño de un atleta, mediante una serie de estrategias que nos permiten sugerir al cuerpo técnico, metas en función a los parámetros

fisiológicos establecidos para el reintegro óptimo del atleta a su hábitat deportivo[43,44]. En función de lo anterior, se han planteado dos grandes preguntas: ¿cuánto afecta el desentrenamiento sobre las variables fisiológicas de un atleta una vez transcurrido el período de rehabilitación?, y ¿cuál es la condición óptima para el retorno deportivo? Para obtener respuestas a estas interrogantes, se han definido dos acciones concretas:

**Realización de monitoreo sistemático a nuestros atletas:** Esta acción permite desarrollar un levantamiento de información continuo que facilita el acceso a información actualizada sobre el estado de condición de cada atleta. Lo anterior, no sólo nos permite determinar los efectos del desentrenamiento sobre las variables fisiológicas, sino que también, facilita la entrega de herramientas de monitoreo dentro del proceso de rehabilitación kinésica, reintegro y criterios de condición ideal para el alta médico-deportiva.

**Vinculación constante entre las diferentes áreas con sello inter/transdisciplinario:** Esta acción nos permite desarrollar un completo análisis integrando las visiones de las diferentes áreas de la UCAD mediante el cruce de datos paramétricos en retrospectiva y predictiva, identificando los eventuales factores de riesgo de lesión en forma individualizada. Por otro lado, estos datos pueden ser incluso utilizados cómo una guía para mejorar las estrategias de prevención.

# Bibliografía

**1.** Wilmore, J. H. & Costill, D. L. Fisiología del esfuerzo y del deporte. (Editorial Paidotribo, 2010).

**2.** Rivera-Brown, A. M. & Frontera, W. R. Principles of exercise physiology: responses to acute exercise and long-term adaptations to training. PM R 4, 797-804 (2012).

**3.** Gabriel, B. M. & Zierath, J. R. The Limits of Exercise Physiology: From Performance to Health. Cell Metab. 25, 1000-1011 (2017).

**4.** McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance. (2015).

**5.** McGuigan, M. Monitoring training and performance in athletes. (Champaign, IL : Human Kinetics, 2017).

**6.** Tanner, R. K., Gore, C. J., & Australian Institute of Sport. Physiological tests for elite athletes. (Champaign, IL : Human Kinetics, 2013).

**7.** Hughes, D. C., Ellefsen, S. & Baar, K. Adaptations to Endurance and Strength Training. Cold Spring Harb. Perspect. Med. 8, a029769 (2018).

**8.** Egan, B. & Zierath, J. R. Exercise metabolism and the molecular regulation of skeletal muscle adaptation. Cell Metab. 17, 162-184 (2013).

**9.** Tomasi, T. B., Trudeau, F. B., Czerwinski, D. & Erredge, S. Immune parameters in athletes before and after strenuous exercise. J. Clin. Immunol. 2, 173-178 (1982).

**10.** Halson, S. L., Lancaster, G. I., Jeukendrup, A. E. & Gleeson, M. Immunological responses to overreaching in cyclists. Med. Sci. Sports Exerc. 35, 854-861 (2003).

**11.** Cerezuela-Espejo, V., Courel-Ibáñez, J., Morán-Navarro, R., Martínez-Cava, A. & Pallarés, J. G. The Relationship Between Lactate and Ventilatory Thresholds in Runners: Validity and Reliability of Exercise Test Performance Parameters. Front. Physiol. 9, 1320 (2018).

**12.** Wasserman, K., Hansen, J. E. & Sue, D. Y. Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications. (Wolters Kluwer Health, 2015).

**13.** Bonow, R. O. & Braunwald, E. Heart disease: a textbook of cardiovascular medicine. (Elsevier / Saunders, 2012).

**14.** Joyner, M. J. & Coyle, E. F. Endurance exercise performance: the physiology of champions. J. Physiol. 586, 35-44 (2008).

**15.** Aziz, A. R., Chia, M. & Teh, K. C. The relationship between maximal oxygen uptake and repeated sprint performance indices in field hockey and soccer players. J. Sports Med. Phys. Fitness 40, 195-200 (2000).

**16.** Girard, O., Mendez-Villanueva, A. & Bishop, D. Repeated-sprint ability - part I: factors

contributing to fatigue. Sports Med. Auckl. NZ 41, 673-694 (2011).

**17.** Bishop, D., Girard, O. & Mendez-Villanueva, A. Repeated-sprint ability - part II: recommendations for training. Sports Med. Auckl. NZ 41, 741-756 (2011).

**18.** Jones, A. M. & Doust, J. H. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. J. Sports Sci. 14, 321-327 (1996).

**19.** Lucía, A., Hoyos, J., Pérez, M. & Chicharro, J. L. Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. Med. Sci. Sports Exerc. 32, 1777-1782 (2000).

**20.** Amann, M., Subudhi, A. W. & Foster, C. Predictive validity of ventilatory and lactate thresholds for cycling time trial performance. Scand. J. Med. Sci. Sports 16, 27-34 (2006).

**21.** Lucía, A., Sanchez, O., Carvajal, A. & Chicharro, J. L. Analysis of the aerobic-anaerobic transition in elite cyclists during incremental exercise with the use of electromyography. Br. J. Sports Med. 33, 178-185 (1999).

**22.** Farrell, P. A., Wilmore, J. H., Coyle, E. F., Billing, J. E. & Costill, D. L. Plasma lactate accumulation and distance running performance. Med. Sci. Sports 11, 338-344 (1979).

**23.** Pallarés, J. G., Morán-Navarro, R., Ortega, J. F., Fernández-Elías, V. E. & Mora-Rodriguez, R. Validity and Reliability of Ventilatory and Blood Lactate Thresholds in Well-Trained Cyclists. PloS One 11, e0163389 (2016).

**24.** Billat, V. L., Sirvent, P., Py, G., Koralsztein, J.-P. & Mercier, J. The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science. Sports Med. Auckl. NZ 33, 407-426 (2003).

**25.** Beneke, R. Maximal lactate steady state concentration (MLSS): experimental and modelling approaches. Eur. J. Appl. Physiol. 88, 361-369 (2003).

**26.** Burnley, M. & Jones, A. M. Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. Eur. J. Sport Sci. 7, 63-79 (2007).

**27.** Jones, A. M. & Burnley, M. Oxygen uptake kinetics: an underappreciated determinant of exercise performance. Int. J. Sports Physiol. Perform. 4, 524-532 (2009).

**28.** Ingham, S. A., Carter, H., Whyte, G. P. & Doust, J. H. Comparison of the oxygen uptake kinetics of club and olympic champion rowers. Med. Sci. Sports Exerc. 39, 865-871 (2007).

**29.** Joyce, D. & Lewindon, D. High-performance training for sports. (Champaign, IL : Human Kinetics, 2021).

**30.** Nelson, R. C. & Morehouse, C. A. International series on sport sciences. (University Park Press, 1974).

**31.** Bar-Or, O. The Wingate Anaerobic Test An Update on Methodology, Reliability and Validity. Sports Med. 4, 381-394 (1987).

**32.** Patton, J. F. & Duggan, A. An evaluation of tests of anaerobic power. Aviat. Space Environ. Med. 58, 237-242 (1987).

**33.** Zagatto, A. M., Beck, W. R. & Gobatto, C. A. Validity of the running anaerobic sprint test for assessing anaerobic power and predicting short-distance performances. J. Strength Cond. Res. 23, 1820-1827 (2009).

**34.** Christie, C. The Wingate Anaerobic Test: A Comprehensive Literature Review and

Update on Reference Values in Athletes. (Utah State University, 2021).

**35.** Seiler, S. & Tønnessen, E. Intervals, Thresholds, and Long Slow Distance: the Role of Intensity and Duration in Endurance Training. Sportscience 13, 1-27 (2009).

**36.** Laursen, P. & Buchheit, M. Science and application of high-intensity interval training. (Champaign, IL : Human Kinetics, 2019).

**37.** Balsalobre-Fernández, C., Santos-Concejero, J. & Grivas, G. V. Effects of Strength Training on Running Economy in Highly Trained Runners: A Systematic Review With Meta-Analysis of Controlled Trials. J. Strength Cond. Res. 30, 2361-2368 (2016).

**38.** Beattie, K., Kenny, I. C., Lyons, M. & Carson, B. P. The effect of strength training on performance in endurance athletes. Sports Med. Auckl. NZ 44, 845-865 (2014).

**39.** Fyfe, J. J., Bishop, D. J. & Stepto, N. K. Interference between concurrent resistance and endurance exercise: molecular bases and the role of individual training variables. Sports Med. Auckl. NZ 44, 743-762 (2014).

**40.** de Souza, E. O. et al. Acute effect of two aerobic exercise modes on maximum strength and strength endurance. J. Strength Cond. Res. 21, 1286-1290 (2007).

**41.** Bentley, D. J., Smith, P. A., Davie, A. J. & Zhou, S. Muscle activation of the knee extensors following high intensity endurance exercise in cyclists. Eur. J. Appl. Physiol. 81, 297-302 (2000).

**42.** Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M. & Coutts, A. J. Internal and External Training Load: 15 Years On. Int. J. Sports Physiol. Perform. 14, 270-273 (2019).

**43.** Mujika, I. & Padilla, S. Detraining: Loss of Training-Induced Physiological and Performance Adaptations. Part I: Short Term Insufficient Training Stimulus. Sports Med. 30, 79-87 (2000).

**44.** Mujika, I. & Padilla, S. Detraining: loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part II: Long term insufficient training stimulus. Sports Med. Auckl. NZ 30, 145-154 (2000).

CAPITULO 5

# LINEAMIENTOS DE KINESIOLOGÍA DEPORTIVA APLICADA AL ALTO RENDIMIENTO

**Autores:**
Juan Carlos Ponce, Darío Correa, Felipe Podestá, Alain Lesage, Rodrigo Valenzuela, Rudy Lepe, Mauricio Ganga, José Cárcamo, Frank Casamayor, Cristóbal Muñoz

# TABLA DE CONTENIDOS


Introducción 324

Origen e Historia del Conocimiento y de la Práctica de la Kinesiterapia en Francia: Cuna de la Kinesiología Chilena 324

Contexto Histórico de la Kinesiología en Chile 325

Kinesiología Deportiva 327

Competencias y Estándares del Kinesiólogo Deportivo Según la Federación Internacional de Kinesiología Deportiva 327

Rehabilitación Física y Rehabilitación Deportiva 329

Objetivos de la Rehabilitación Deportiva 330

Área de Kinesiología Deportiva en la UCAD 340

Objetivos del Área Kinesiología Deportiva UCAD 341

Tributación del Área De Kinesiología Deportiva a los Pilares Estratégicos de la UCAD 364

Pilar de Rendimiento Deportivo 365

Pilar de Prevención de Lesiones Deportivas y Enfermedades 365

Área de Evidencia Diagnóstica en Lesiones Deportivas, Rehabilitación y Reintegro Deportivo 369

Pilar de Perfeccionamiento, Investigación, Tecnología e Innovación 370

Valoraciones 371

Valoración Postural 371

Valoraciones en Atletas Paralímpicos 374

Rango de Movimiento de Hombros 377

Equilibrio Postural o Estático 380

Dinamometría Manual 382

Valoración Del Core 385

Valoración FMS (Functional Movement Screen) 393

Side Hop Test 402

Referencias 407

# INTRODUCCIÓN

En palabras de la World Physiotherapy o Fisioterapia Mundial (conocida hasta 2020 como *World Confederation of Physical Therapy*), la Kinesiología (también denominada Terapia Física o Fisioterapia), tiene como objetivo **facilitar el desarrollo, mantención y recuperación de la máxima funcionalidad y movilidad del individuo o grupo de personas a través de su vida**. La Kinesiología se puede definir como el estudio del movimiento humano normal y de las condiciones que lo alteran, abarcando desde una visión analítica hasta una visión antropológica y sociológica, científicamente constituidas y socialmente aceptadas, y que son puestas al alcance de todas las personas, familias y comunidad mediante su plena participación en la sociedad. En Chile y en el mundo, los kinesiólogos ayudan a las personas a maximizar su calidad de vida, mirando el bienestar físico, psicológico, emocional y social. Su creciente participación en los distintos ámbitos de la salud (promoción, prevención, tratamiento, habilitación y rehabilitación), han derivado en la creación de un campo de conocimiento científico propio, que se ha construido a partir de su capacidad de investigar, innovar y favorecer el estado de salud, entendiendo éste como **el completo bienestar físico, emocional y social**, por lo tanto, constituyéndose como un bien social, un derecho de la humanidad y un componente esencial de la calidad de vida, del crecimiento y desarrollo integral de un país[1].

## Origen e Historia del Conocimiento y de la Práctica de la Kinesiterapia en Francia: Cuna de la Kinesiología Chilena

Heredera de la medicina griega y romana, la kinesiterapia, incluido el masaje, tiene sus orígenes en un conjunto de conocimientos que pertenecen a los saberes populares, la fisiología de los seres vivos y las prácticas deportivas. Sus componentes fundamentales son el masaje, la gimnasia médica, la balneoterapia y la electroterapia; cada uno fue sometido a la experimentación médica con el propósito de aportar pruebas tangibles de eficacia en un corpus que, de forma oficial, se

convertiría en la kinesiterapia, la cual constituye un conjunto de prácticas orientadas hacia la reestructuración de las capacidades fisiológicas deficitarias de las personas. Fueron los médicos quienes permitieron su difusión; al prescribirlas, ayudaron a que la gente las conociera y aceptara. Durante la primera guerra mundial alcanzaron un gran éxito. Los masajistas médicos, que trabajaban en silencio en espera de una oficialización de su práctica (algo que no ocurrió hasta la segunda guerra mundial), fueron cobrando notoriedad y llegaron a confrontar a especialistas en gimnasia médica y profesores de educación física; defendieron su práctica manual de índole médica y aplicación espontánea del movimiento ante quienes preconizaban el desarrollo del individuo sin tener en cuenta su estado de salud. En el lapso de unos treinta años, pasó de ser una práctica combatida a una práctica aceptada. En 1946, fue «devuelta» oficialmente a los masajistas y sometida a control médico. El mismo año, los masajistas médicos se fusionaron con los especialistas en gimnasia médica, que eran la minoría, con la intención de conservar cada uno su propia especificidad. El nuevo profesional se denominará masajista – kinesiterapeuta, heredero de las prerrogativas de los masajistas. La kinesiterapia, ya instalada en el campo médico, evolucionó junto con la medicina, y hasta hoy se mantiene unida a ésta de forma indefectible[2].

## Contexto Histórico de la Kinesiología en Chile

La Kinesiología en Chile está íntimamente ligada en su nacimiento a la Educación Física. Se puede decir que ella entra por la puerta ancha a las aulas universitarias el 6 de marzo de 1906, cuando se crea el Instituto Superior de Educación Física y Manual con Don Joaquín Cabezas como su primer Director y Fundador. Bajo su alero se creó el primer Gabinete de Kinesiterapia en 1912, el cual efectuaba tratamientos en base a ejercicios terapéuticos y masoterapia médica. Por decreto Nº 2.867 del 31 de Julio de 1929, se establece un nuevo plan de estudios para la carrera de Educación Física en el que figuró por primera vez la Kinesiología como asignatura: dictándose en el tercer Año de estudios de Educación Física. Poco a poco estas materias fueron rebasando el marco de la asignatura para pasar a constituirse en cursos de

perfeccionamiento conducentes a una especialidad. En el año 1935 se crea el Título de “Entrenadores y Masajistas” según decreto Nº 573 del 8 de noviembre emanado por la Universidad de Chile. Bajo ese amparo legal, empezaron a ejercer la Kinesiología los precursores de ella, que eran profesionales universitarios que basaban su terapia en el masaje y en los ejercicios. Años después se promulga el decreto N° 618 del 5 de julio de 1943, que cambia la denominación de "Masajista" por la de "Técnico en Kinesiterapia". Ello vino a enmarcar de manera más clara el área científica en que se desenvolvían los "Entrenadores y Masajistas". El decreto N°363 de la Universidad de Chile en 1944 crea el Reglamento de estos cursos. En 1947 se promulga el decreto N°859 del 2 de julio que cambia la denominación de "Técnico en Kinesiterapia", por el título de Kinesiólogo. Junto con ello, se crean los cursos anuales de especialización en Kinesiterapia en el Instituto de Educación Física y Técnica de la U. de Chile, con requisito de título de Profesor de Educación Física para poder ingresar a dicho curso de especialización. En abril de 1956, se abre a la vida universitaria la nueva Escuela de Kinesiterapia con planes y programas totalmente independientes de la Carrera de Educación Física. Su duración era de 4 años, con el prerrequisito de poseer el grado de bachiller (actual Prueba de Selección Universitaria). El 8 de agosto de 1957, la Rectoría de la Universidad de Chile expidió el decreto N°3.966 en el cual se crea el Departamento de Kinesiterapia en el Instituto de Educación Física y Técnica. Ese Decreto (3966) es un hito importante en la historia de la Kinesiología en Chile: se da nacimiento a la carrera, independiente de otras y con su propio alumnado desde el primer año. El egreso también era independiente de otros títulos y consistía en una Tesis de Grado (artículo 20) que el alumno debía defender ante una Comisión. Hasta 1956 habían egresado sólo 14 Kinesiólogos con una formación específica en Kinesiterapia de menos de 4 años. Recordemos que éstos eran profesionales Universitarios (cuatro años de Educación Física) con una formación posterior en Kinesiterapia. En 1959 egresa a la vida profesional la primera generación de los conocidos generalmente como "Kinesiólogos Puros"; se recibieron 14 profesionales. Los Kinesiólogos que egresaban, trabajaban casi en su totalidad en los Servicios Públicos de Salud, vale decir, el Servicio Nacional de Salud (SNS), no recibiendo el mismo trato económico que el

resto de los profesionales universitarios del área salud. El 28 de diciembre de 1959 se les hizo justicia al firmarse el Decreto con Fuerza de Ley (DFL) 256-53, oficio N°76512, en cuyo artículo 75 se procedía a otorgarles la "Asignación de título para los Kinesiólogos que trabajen en Universidades, Hospitales, etc.". Como se aprecia desde su nacimiento, la profesión de kinesiólogo en Chile ha estado vinculada a la universidad y mantuvo este nivel de formación hasta la promulgación de la Ley Orgánica Constitucional de Enseñanza (LOCE) que declara la exclusividad de formación universitaria a doce profesiones, excluyendo a Kinesiología. Desde el año 2005 en adelante 2 institutos han abierto la carrera; Sin embargo, según el Consejo Nacional de Educación la titulación ha sido muy baja en relación a la titulación de carácter universitaria[1].

## Kinesiología Deportiva

La Kinesiología Deportiva es una área de especialización profesional dentro de la Kinesiología que promueve la participación segura en la actividad física, asesora y adapta sus diferentes intervenciones y técnicas, tanto a la rehabilitación como al entrenamiento deportivo, con el fin de prevenir lesiones, restaurar la función óptima y contribuir a mejorar el rendimiento deportivo en los atletas y para-atletas de todas las edades y habilidades[2].

## Competencias y Estándares del Kinesiólogo Deportivo Según la Federación Internacional de Kinesiología Deportiva

La Federación Internacional de Kinesiología Deportiva (IFSPT) es una federación internacional que representa a las organizaciones nacionales de Kinesiología Deportiva (SOKIDE es la Sociedad Chilena de Kinesiología del Deporte). El objetivo de la IFSPT es lograr ser el recurso internacional para los kinesiólogos deportivos para promocionar sus profesiones a través de las organizaciones médicas profesionales. La IFSPT es un subgrupo reconocido de la Fisioterapia mundial (*World*

*Physiotherapy*). La kinesiología deportiva se ha promovido y desarrollado aún más desde que se estableció la IFSPT en 2000. El proyecto de kinesiología deportiva para todos (SPA) financiado por la Unión Europea desarrolló las competencias y los estándares que se esperan de los especialistas en kinesiología deportiva. Las declaraciones de competencia describen comportamientos profesionales efectivos e integran conocimientos, habilidades y actitudes específicas para este contexto específico de práctica. Estas competencias proporcionan una base para el desarrollo de políticas, permiten actividades de aseguramiento de la calidad y facilitan el desarrollo profesional individual. Se desarrollaron y diseñaron once competencias en fisioterapia deportiva para demostrarlas a nivel de maestría (**Figura 1**)[3]:

**Figura 1**. Competencias en fisioterapia deportiva para demostrarlas a nivel de maestría.

La IFSPT incentiva los altos estándares en kinesiología deportiva al mantener al atleta como el elemento central del equipo científico – técnico que lo rodea. En concreto, se preocupa del rendimiento de los atletas, el trabajo en equipo, la especialidad y las habilidades complementarias y los lineamientos multi, inter y transdisciplinarios[3].

## Rehabilitación Física y Rehabilitación Deportiva

La rehabilitación física, en su concepto más general, incluye cualquier procedimiento cuyo objetivo final es maximizar una función corporal disminuida producto de lesiones o enfermedades. La palabra "**rehabilitar**" está formada con raíces latinas y significa "restituir a alguien o algo a su antiguo estado". Sus componentes léxicos son: el prefijo re- (hacia atrás, de nuevo), habilitas (cualidad ser capaz de hacer algún trabajo determinado), más el sufijo -ar (terminación usada para formar verbos). La organización mundial de la salud (OMS) define a la rehabilitación como "un conjunto de intervenciones encaminadas a optimizar el funcionamiento y reducir la discapacidad en personas con afecciones de salud en la interacción con su entorno"[4]. La misma OMS dice que la rehabilitación permite a las personas "llegar ser lo más independientes posible en su día a día, participar en actividades educativas, laborales, recreativas y/o realizar las acciones que dan sentido a su vida, como el practicar deporte en sus diferentes niveles". Desde este concepto se entiende a la **rehabilitación deportiva** como el conjunto de métodos que, en el atleta en rehabilitación, tienen por finalidad la recuperación del nivel funcional pre-lesional, para así reincorporarlo a su nicho ecológico habitual: el entrenamiento y la competencia deportiva. El término readaptación (el cual no existe en el diccionario de la real academia de la lengua española) es un concepto que puede crear confusión al entenderlo como sinónimo de rehabilitación (término que efectivamente si existe en dicho diccionario). La **readaptación**, implica al fenómeno biológico y natural producto del proceso de rehabilitación física y/o deportiva en el que el(los) tejido(s) o segmento(s) lesionado(s), al ser sometido a cargas individualizadas y progresivas (una vez reparado o con cierto grado de reparación), vuelve a adaptarse (por eso el prefijo -re-) a un cierto nivel funcional para ser capaz de soportar los niveles de carga que le eran habituales en el estado pre-lesional. Sabemos que el entrenamiento deportivo produce el mismo fenómeno en los diferentes tejidos y sistemas fisiológicos del sujeto sano. Aquí el fenómeno subyacente es el de adaptación al entrenamiento. Por lo tanto, la *readaptación deportiva es el fenómeno biológico y positivo subyacente a las cargas que se aplican durante la*

*rehabilitación deportiva*. Por último, los fisioterapeutas deben tomar decisiones clínicas adecuadas y precisas al tratar a un atleta lesionado. Cuando la selección de las intervenciones es correcta y estas se aplican de manera apropiada y en la correspondiente fase de la rehabilitación deportiva, sin lugar a dudas se obtendrán resultados positivos para beneficio del atleta[5]. Para lograr esto, el kinesiólogo deportivo debe realizar una valoración del atleta al inicio del proceso y a lo largo de todas las fases del programa de rehabilitación. Esto permite diseñar un plan general y ajustar las cargas y/o las intervenciones según la evolución del atleta.

## Objetivos de la Rehabilitación Deportiva

Llevada al campo de la medicina deportiva, la rehabilitación física de los atletas lesionados tiene cuatro objetivos fundamentales (**Figura 2**)[6]:

1. En el menor tiempo posible, restaurar la función física y el rendimiento deportivo hasta el nivel funcional pre-lesional del atleta.
2. Minimizar al máximo el fenómeno de desacondicionamiento físico.
3. Lograr la reincorporación segura del atleta a su actividad habitual.
4. Reducir al máximo el riesgo de re-lesión.

**Figura 2**. Objetivos fundamentales de la rehabilitación deportiva.

# Fases de la Rehabilitación Deportiva

La rehabilitación del atleta se extiende entre el momento de la lesión propiamente tal y el momento en que se logra el retorno completo a la actividad previa a la lesión. Durante la rehabilitación, y en la medida que evoluciona positivamente la afección, el atleta desarrolla un plan progresivo de reacondicionamiento físico orientado al logro de niveles adecuados de las cualidades motoras necesarias para la realización de su actividad específica (fuerza, resistencia, flexibilidad, entre otros). En este contexto, debe respetarse el proceso biológico de reparación, la patomecánica de la lesión, o, si existiesen, tener consideración de los procedimientos quirúrgicos efectuados (**Figura 3**). En nuestro medio, la rehabilitación deportiva de las lesiones del aparato locomotor está en manos del kinesiólogo deportivo. La última etapa de la rehabilitación consiste en una fase que se denomina Reintegro Deportivo y se entenderá como parte de la rehabilitación hasta que se logren los criterios de alta para permitir el paso al retorno completo a la actividad (entrenamiento o competencia)[5-13].

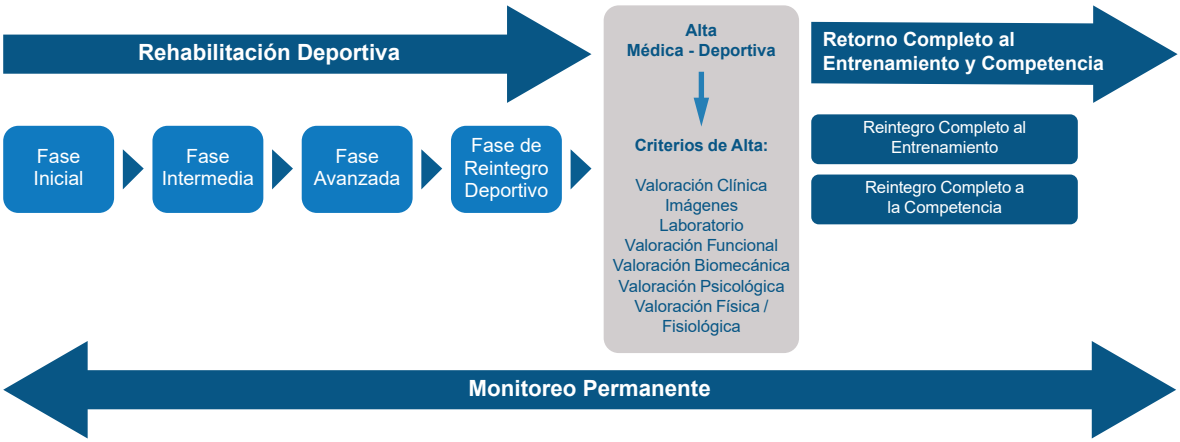



**Figura 3**. Esquema del proceso de rehabilitación deportiva hasta el retorno completo al entrenamiento y a la competencia.

La rehabilitación se basa en un modelo de rehabilitación activa, en lo posible evitando el reposo y/o la inmovilización prolongada (**Figura 4**), las cuales tienen efectos potencialmente perjudiciales sobre las capacidades mecánicas de los tejidos del aparato locomotor, la fuerza y potencia muscular y las estructuras en general[6,13].

**Figura 4**. Relación antagónica entre el reposo y el ejercicio durante la rehabilitación deportiva.

La rehabilitación deportiva tiene tres características[6], las cuales se detallan a continuación:

- El uso de progresiones funcionales durante el proceso.
- La aplicación de valoraciones funcionales para determinar el avance en el proceso.
- La aplicación de criterios de alta para permitir el reintegro deportivo.

*Progresiones Funcionales*

Las progresiones funcionales permiten la transición del paciente desde un nivel de función inferior a uno superior (mayor demanda o solicitación) (**Figura 5**). Intentan replicar tanto las múltiples interacciones articulares como también las sinergias musculares requeridas en la ocupación o en la actividad deportiva. En sujetos sedentarios puede no ser necesario ir más allá de las actividades relacionadas con la ocupación. En atletas, siempre es necesario alcanzar el nivel funcional suficiente para un retorno seguro a la práctica

deportiva sin riesgo de relesión. Existen cuatro principios para el diseño de progresiones funcionales:

- Individualización del paciente (atleta), del deporte y la lesión.
- Las actividades deben ser positivas, no incrementar signos o síntomas.
- El programa debe estar ordenado progresivamente.
- El programa debe ser variado:
  - Variación de la técnica de ejercicio.
  - Alteración del programa a intervalos regulares.
  - Mantener la base de condición física.
  - Plantear objetivos alcanzables, revalorar y ajustar.
  - Usar actividades específicas del deporte para facilitar el reintegro deportivo.

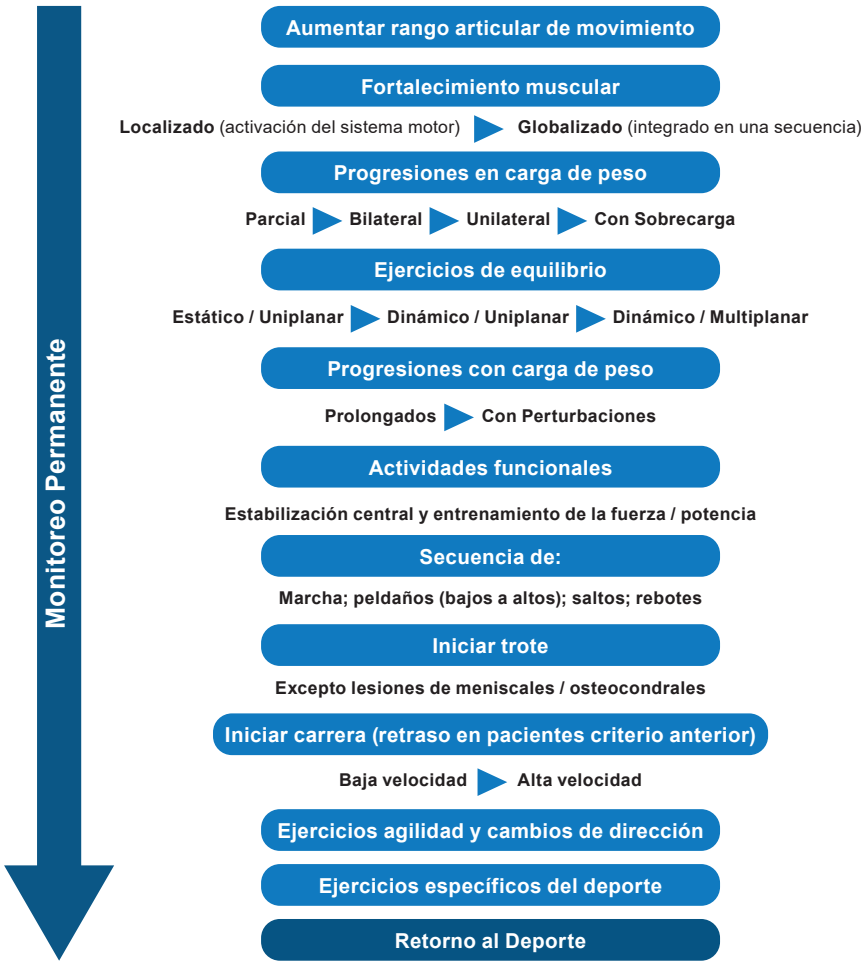



**Figura 5**. Ejemplo de progresión funcional en miembro inferior.

*Valoración Funcional*

Una valoración funcional es un esfuerzo simple y máximo que indica el grado de recuperación del atleta, monitoreando el avance dentro del programa. El uso de valoraciones funcionales tiene como objetivos:

- Determinar riesgo de lesión debido a asimetría entre miembros.
- Entregar valoración objetiva del progreso durante el plan de rehabilitación.
- Valorar y monitorear la capacidad del paciente (atleta) para tolerar esfuerzos.

A lo largo de este proceso continuo y dentro de sus diferentes fases, la progresión debe basarse en criterios funcionales en lugar de ser basado en el tiempo[6], lo que se logra con la aplicación de valoraciones funcionales específicas del deporte que determinan la progresión a la siguiente fase[6]. Sin embargo, siempre el factor clave que permite avanzar es la reparación de los tejidos lesionados.

*Criterios de Reintegro Deportivo*

No existe consenso en cuanto a la definición de reintegro deportivo. La mayoría de los estudios se refieren al atleta con retorno exitoso al deporte como aquel atleta que logra regresar para competir en su deporte de origen o en deporte competitivo[5-13]. Otras definiciones lo describen como el regresar a la práctica o al entrenamiento con niveles y objetivos de competencia explícitamente definidos[5-13]. Se puede decir que el retorno al deporte se logra cuando el atleta logra ciertos parámetros de desempeño que estarán de acuerdo al diagnóstico inicial, así como a la caracterización de su deporte y de él mismo. Una vez logrados, el atleta tiene la autorización médica para retornar a su actividad[5-13]. En general, los criterios incluyen una cantidad de variables que deben ser ponderadas caso a caso:

- Proceso biológico de reparación completado.
- Nivel de dolor e inflamación (ausente o tolerable).
- Nivel de movilidad articular, fuerza, potencia muscular al menos de un 90 % de la extremidad contralateral (mientras más simetría, es mejor).
- Equilibrio muscular agonista / antagonista normal.
- Nivel de resistencia muscular local y general (cardiorrespiratoria) suficientes y/o necesarios para una realizar una práctica deportiva segura.
- Condición física general adecuada al deporte.
- Las demandas deportivas no representan riesgo de relesión.
- Resultados positivos de pruebas funcionales (deseable no tener simetrías).
- Movilidad articular completa y/o funcional para la actividad deportiva.
- Examen clínico negativo o sin hallazgos.
- Estabilidad articular clínica satisfactoria.
- Pruebas biomecánicas positivas (i.e., sin alteraciones).
- Confianza en el segmento involucrado.
- Entrenamiento normal o formal completado en un 100%.

**Tabla 1**. Las tres características de la rehabilitación deportiva.

| Características de la Rehabilitación Deportiva | |
|---|---|
| **Uso de Progresiones Funcionales** | Las progresiones funcionales son actividades gradualmente progresivas diseñadas para preparar el retorno del atleta a su práctica habitual.<br>Las destrezas motoras propias de la actividad deportiva son fraccionadas en patrones motores.!<br>Se organiza la ejecución de actividades progresivas y relacionadas, según las posibilidades actuales del paciente (atleta).<br>Permitan el monitoreo permanente de la tolerancia del atleta a las actividades físicas en general y de su deporte en particular. |
| **Valoraciones Funcionales** | Una valoración funcional es un esfuerzo simple y máximo que indica el grado de recuperación del atleta, determinando y monitoreando el avance dentro del programa.<br>Se usan las destrezas de la progresión funcional que miden la habilidad del atleta para ejecutar una actividad específica:<br>Carga bipodal – monopodal.<br>Carreras de agilidad (adelante, atrás, ocho, cuadrado, entre otras).<br>Saltos (bipodal, monopodal, arriba, adelante, atrás, zigzag, entre otras).<br>Cuadrupedia (apoyo en pies o rodillas).<br>Apoyos unilaterales en EESS, entre otras. |

| | |
|---|---|
| **Criterios de Reintegro Deportivo** | Proceso biológico de reparación completado.<br>Nivel de dolor e inflamación (ausente o tolerable).<br>Nivel de movilidad articular, fuerza, potencia muscular al menos de un 90 % de la extremidad contralateral (mientras más simetría, es mejor).<br>Equilibrio muscular agonista / antagonista normal.<br>Nivel de resistencia muscular local y general (cardiorrespiratoria) suficientes y/o necesarios para una realizar una práctica deportiva segura.<br>Condición física general adecuada al deporte.<br>Las demandas deportivas no representan riesgo de relesión.<br>Resultados positivos de pruebas funcionales (deseable no tener simetrías).<br>Movilidad articular completa y/o funcional para la actividad deportiva.<br>Examen clínico negativo o sin hallazgos.<br>Estabilidad articular clínica satisfactoria.<br>Pruebas biomecánicas positivas.<br>Confianza en el segmento involucrado.<br>Entrenamiento normal o formal completado en un 100%. |

*Complejidad de la Tarea Motora, Parte de la Progresión Funcional en la Rehabilitación Deportiva*

En el campo práctico del entrenamiento de la fuerza, a menudo se exploran tres caminos para aumentar y variar la carga externa[14] (para más detalles, ver **Carga de Entrenamiento** en **Capítulo 1**):

**Volumen:** e.g., el producto del número de series por repeticiones por la carga en kilos.

**Intensidad:** e.g., cantidad de carga movilizada en relación a un peso máximo (1 RM).

**Densidad:** modificación de los tiempos de descanso (manteniendo el volumen y la intensidad sin cambios).

Como el entrenamiento funcional (usado tanto en el acondicionamiento de sujetos sanos como en atletas en rehabilitación) implica el uso del entrenamiento de fuerza de manera sinérgica, integrada y equilibrada con otras capacidades físicas, se ha incorporado una modalidad de progresión de la carga distinta a las convencionales: la **complejidad**. Esta intenta aumentar el nivel de estrés o de estímulo biológico que representa el entrenamiento físico sin necesariamente aumentar las variables usadas convencionalmente (carga, volumen, frecuencia) (**Tabla 2**), si no más bien lo que está vinculado con los contenidos de la carga

(ver **Capítulo 1**). Esto se logra al aumentar la[14]:

- Dificultad técnica del ejercicio.
- Variabilidad en los patrones de ejecución.
- Incertidumbre en las acciones a realizar (incremento del caos).

**Tabla 2**. Formas más usadas para aumentar la complejidad de los ejercicios de fortalecimiento muscular[14].

| Estrategias para Incrementar Dificultad de los Ejercicios |
|---|
| Verificar que el ejercicio seleccionado sea lo más similar posible a algunas de las tareas cotidianas efectuadas por el atleta |
| Aumentar la velocidad de ejecución de la tarea, principalmente en la fase concéntrica de los ejercicios |
| Usar ejercicios que involucren al mismo tiempo a múltiples segmentos corporales |
| Utilizar la disminución de la estabilidad con ejercicios ejecutados sobre bases inestables |
| Utilizar la disminución de la estabilidad con ejercicios realizados con cargas inestables |
| Ejecutar ejercicios y/o movimientos de manera multiplanar |
| Ejecutar un ejercicio de manera unilateral o alterna |
| Ejecutar ejercicios de doble tarea |
| Realizar ejercicios con patrones de movimiento no cíclicos |
| Ejecutar ejercicios con privación visual |

Es muy importante tener en cuenta el proceso de reparación natural de cada tejido o segmento involucrado al momento de planificar un plan de rehabilitación. Como la última fase de la reparación tisular es la remodelación y esta, a su vez es la más prolongada de las tres (inflamación – proliferación – remodelación), pues en algunos tejidos puede alcanzar hasta más de un año, siempre es aconsejable **monitorear al atleta** y continuar con un programa **prevención de lesiones**[10-12,14]. A pesar de no existir un consenso en cuanto al número total de fases[5-10,12-14], la mayoría de los programas de rehabilitación deportiva publicados constan de las siguientes etapas (**Tabla 3**):

**Tabla 3**. Fases de rehabilitación deportiva[5].

| Fase | Objetivo! |
|---|---|
| **Fase I** | Control de la inflamación y/o manejo del dolor. |
| **Fase II** | Restauración del Rango de Movimiento. |
| **Fase III** | Incremento de la fuerza muscular, de la resistencia, de la agilidad, entre otros. |
| **Fase IV** | Regreso al deporte (*return to play*). |

**Fase I, Inicial o Aguda:** se busca favorecer la reparación de tejidos y simultáneamente evitar el desacondicionamiento físico. En esta fase, se debe tratar el dolor y la inflamación presentes en el tejido lesionado. Se proporcionan intervenciones que buscan controlar estos síntomas del atleta, si están presentes. Además, se debe tener atención con la capacidad de moverse en el rango de movimiento indoloro de la articulación lesionada (si corresponde) para que no disminuya ni se altere. También es necesario considerar mantener la capacidad cardiorrespiratoria junto con la condición físicas del resto del cuerpo para mantener su función y condición de entrenamiento[5].

**Fase II, Intermedia o de Restauración del Rango de Movimiento:** aquí se busca recuperar la movilidad articular. La condición del atleta debe haber comenzado a mostrar cambios positivos como aumento del rango de movimiento (llegar hasta al menos el 70-80 % de lo normal), reducción del dolor y haber comenzado a poder mover el segmento lesionado para realizar las actividades diarias. Se debe estimular la activación muscular de los segmentos involucrados. Posteriormente se debe progresar a ejercicios de fortalecimiento muscular inicial (como los ejercicios isométricos, o con pesas, o ejercicios isotónicos con pesas livianas) hasta llegar a trabajar con el peso corporal. Se deben incluir ejercicios propioceptivos y ejercicios de cadena cinética cerrada para favorecer la estabilidad y el control neuromuscular[5].

**Fase III, Avanzada o de Reacondicionamiento Físico:** aquí se recupera la forma física al mayor nivel posible considerando la evolución de la lesión y la condición actual del atleta. Para ello el atleta debe estar libre de dolor y/o tener una interferencias mínimas con el rango de movimiento y la función del segmento lesionado. La intervención en forma de ejercicios de fortalecimiento con cargas progresivas y elevadas, pero ajustadas a la condición actual de su lesión. Se realizan ejercicios propioceptivos o de control neuromuscular avanzados, ejercicios de equilibrio dinámico y de coordinación. Se pueden ejecutar ejercicios de cadena cinética abierta sin restricciones. En esta etapa los patrones de movimiento típicos del deporte pueden usarse como patrones de movimiento en los ejercicios de fortalecimiento muscular.

Dentro de esta etapa y en la medida en que exista una base de fuerza adecuada, se pueden incorporar ejercicios pliométricos que se adapten a las necesidades del atleta, pero sobre todo a su condición y capacidad. En esta fase se visualizan las habilidades de agilidad, velocidad y resistencia características de los atletas. en este proceso debe estar integrado el segmento lesionado[5].

**Fase IV, de Reintegro Deportivo (o Regreso al Deporte o Return to Play):** es la última etapa de la rehabilitación y aquí el atleta se prepara para la reincorporación al deporte. Se accede una vez que se han cumplido los criterios de rehabilitación para la fase avanzada o de reacondicionamiento. El kinesiólogo se orienta a la normalización (si es que no se completó en la etapa precedente) y/o al desarrollo de las diferentes capacidades físicas (lo cual ya fue comenzado en fases anteriores) hasta alcanzar el nivel que se requiere para la reincorporación segura al deporte. Generalmente se utilizan ejercicios de fortalecimiento con cargas desde casi máximas hasta máximas, ejercicios pliométricos avanzados, ejercicios de resistencia cardiorrespiratoria (si corresponden), así como también ejercicios específicos del deporte. En esta fase se debe monitorear permanentemente al atleta en rehabilitación para detectar alteraciones que pueden presentarse en el segmento en recuperación o en otras partes del cuerpo y que son el producto del entrenamiento físico. Hacia el final de este periodo se realizan **valoraciones funcionales** para objetivar, documentar y monitorear la factibilidad de retorno al deporte. Cada diagnóstico médico puede implicar una serie de alteraciones anatómicas y/o funcionales, las que a su vez desencadenan deterioros específicos en el atleta. Con el fin de tener una referencia teórica respecto a los parámetros que deben lograrse para permitir el reintegro completo a la actividad es que, con la rehabilitación deportiva, deben lograrse determinados **criterios de alta deportiva**. Cuando estos criterios de alta deportiva están logrados (lo que debe verificarse dentro de esta fase), se puede decir que el atleta está preparado para entrenar y competir sin restricción. Sin embargo, la decisión de volver al deporte no se toma de forma aislada por ningún profesional del equipo que apoya la rehabilitación del atleta (médico, kinesiólogo, fisiólogo,

biomecánico, nutricionista, psicólogo, científico del deporte, preparador físico, entrenador, entre otros). Aunque todo el equipo de científico – técnico debe tomar la decisión en colaboración, es el propio atleta el que tiene la decisión final. Si bien la responsabilidad de un reintegro seguro al deporte recae sobre los diferentes profesionales que sinérgicamente colaboraron en el proceso, esta recae principalmente en el médico tratante, pues corresponde a un alta médica deportiva[5].

*Variación y Adaptación de las Fases*

La descripción del proceso de rehabilitación deportiva realizada en cuatro fases ayuda a esquematizar y organizar conceptualmente las prioridades en cada una de ellas, así como las diferentes intervenciones, esta no puede generalizarse a todos los casos posibles. De hecho, las diferentes fases descritas tienen contenidos que se superponen entre sí. Una vez producida la lesión, cada tejido tiene un proceso biológico de reparación tisular que incluye dos fenómenos que a veces compiten entre sí: la regeneración y la cicatrización. La duración de este proceso es característica del tipo de tejido involucrado. Esta es la principal referencia que debe tenerse presente al momento de iniciar el programa de rehabilitación, con el fin de efectuar una estimación aproximada acerca de cuánto tiempo ocupará todo el proceso. Dependiendo del tejido dañado, la magnitud de la lesión, del tipo de segmento corporal y de la función requerida, entre otras variables, los plazos temporales de la rehabilitación deportiva serán diferentes. La capacidad individual de reparación jugará un rol muy importante[5].

## Área De Kinesiología Deportiva en la UCAD

Así como todas las dependencias del CAR, el Área de Kinesiología Deportiva comienza su funcionamiento el 28 de diciembre de 1995. Inicialmente bajo el alero de la Dirección General de Deportes y Recreación (DIGEDER). A partir del 9 de febrero de 2001, al promulgarse la Ley del Deporte, DIGEDER cambia a su denominación actual: Instituto Nacional de Deportes. Desde entonces, el área de Kinesiología y

Masoterapia Deportiva se compone tanto de profesionales kinesiólogos deportivos y masoterapeutas deportivos. Las actividades desarrolladas pertenecen a diferentes ámbitos de acción:

- Asistencial.
- Preventivo.
- Docente.
- Extensión.

El accionar del Área de Kinesiología obedece a los lineamientos que tiene la UCAD, la cual tiene las directrices del Instituto Nacional de Deportes.

## Objetivos del Área Kinesiología Deportiva UCAD

- Contribuir a la mejora o mantenimiento de la salud, condición física y deportiva de los atletas convencionales y paralímpicos
- En coordinación con las otras áreas de la UCAD, contribuir al desarrollo e implementación de programas de prevención de lesiones deportivas
- Proporcionar y ejecutar técnicas y procedimientos que favorezcan la recuperación deportiva
- Desarrollar programas integrales de rehabilitación hasta lograr el reintegro deportivo con el mínimo riesgo de relesión

## Información General Sobre los Procedimientos e Intervenciones Usados en Kinesiología Deportiva

En el ámbito deportivo y musculoesquelético, el accionar del Kinesiólogo incluye la aplicación de diferentes procedimientos que implican una variedad de técnicas kinésicas de valoración y de tratamiento. Estas técnicas y procedimientos se presentan en la **Tabla 4**:

**Tabla 4**. Técnicas y procedimientos utilizados en Área de Kinesiología Deportiva UCAD.

| |
|---|
| Valoración Kinésica |
| Fisioterapia (agentes físicos): (i) Fisioterapia Tradicional; (ii) Fisioterapia Invasiva |
| Terapia Manual, Osteopatía, Quiropraxia |
| Vendaje Funcional |
| Masoterapia |
| Métodos de Recuperación Deportiva |
| Entrenamiento con Restricción del Flujo Sanguíneo |
| Kinesiterapia o Ejercicio Terapéutico |

A continuación, se describen sucintamente las diferentes intervenciones y apoyos que son entregados en el Área de Kinesiología Deportiva:

## Valoración Kinésica

Los diferentes procedimientos de valoración kinésica tienen por objetivo recolectar información acerca de los deterioros que presenta el atleta con el fin de confeccionar un diagnóstico kinésico a partir del cual se desarrolla el plan de intervención. Las valoraciones pueden ser de diferente índole (**Tabla 5**):

**Tabla 5**. Valoraciones kinésicas utilizadas en Área de Kinesiología Deportiva UCAD.

| |
|---|
| Postural |
| Articular |
| Muscular |
| Cardiorrespiratoria |
| Neurológica |
| Marcha |
| Carrera |
| Funcional |

## Fisioterapia

La fisioterapia proviene del griego physis ('naturaleza') y therapéia ('tratamiento'). En términos generales, corresponde al tratamiento con medios naturales. Estudia la utilización terapéutica de los agentes físicos en las diferentes patologías que afectan al organismo y para ello, comprende el estudio de los efectos físicos y de las reacciones fisiológicas ante la aplicación de los tres tipos de dichos agentes (ver **Tabla 6**):

- Agentes térmicos.
- Agentes electromagnéticos.
- Agentes mecánicos.

Debido a la aparición y desarrollo de la fisioterapia invasiva, se hace necesario diferenciar los dos tipos de fisioterapia:

- Fisioterapia tradicional.
- Fisioterapia invasiva.

## Fisioterapia Tradicional

Corresponde al uso terapéutico de agentes físicos como calor, frío, agua, electricidad, campos magnéticos, elementos mecánicos (electroanalgesia, electroestimulación, ondas de choque, ultrasonoterapia, diatermia de calor y frío superficial, campos magnéticos, láser, hidroterapia, balneoterapia, métodos de tracción, suspensión).
La diatermia es la aplicación de calor o frío. En general los diferentes procedimientos de fisioterapia intentan:

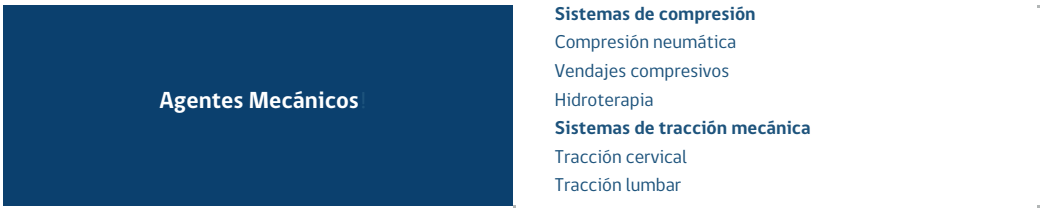
- Controlar el dolor mediante la inducción de analgesia.
- Controlar la inflamación que está presente en muchos de los traumas deportivos.
- Estimular la contractilidad muscular para retardar o revertir la atrofia muscular.

- Favorecer el proceso de reparación tisular provocado por la lesión deportiva.

El calor aumenta el riego sanguíneo y disminuye el tono muscular. El frío disminuye la respuesta inflamatoria y tiene un efecto analgésico. Ambos procedimientos, si es que son aplicados inapropiadamente, pueden generar lesiones cutáneas. Los campos magnéticos y el láser son estimulantes celulares del proceso reparativo. La electroestimulación favorece la contractilidad del musculo esquelético y se usa para retardar la atrofia muscular y también para favorecer su activación. La electroanalgesia utiliza corrientes de diferente tipo que tienen u efecto de disminución del dolor, pero también provocan un incremento en la circulación local, lo que favorece el proceso reparativo. Las ondas de choque y el ultrasonido son ondas mecánicas que estimulan la reparación tisular. La hidroterapia y la balneoterapia comprende el uso de inmersión segmentaria o corporal en agua o en diferentes tipos de baños. Tiene un efecto sedante y de recuperación general. Los métodos de tracción y suspensión permitan desarrollar ejercicios terapéuticos con o sin el efecto de la gravedad.

**Tabla 6**. Clasificación de los agentes físicos usados en fisioterapia tradicional (no invasiva).

| | |
|---|---|
| **Agentes Térmicos** | **Agentes superficiales o diatermia de calor y frio superficial**<br>Calor superficial: compresas húmedo-calientes (termoterapia)<br>Frio superficial: compresas frías (crioterapia)<br>**Agentes profundos o diatermia profunda**<br>Ultrasonoterapia<br>Diatermia por campos magnéticos (electroterapia de alta frecuencia: mayor a 10.000 Hz) |
| **Agentes Electromagnéticos** | **Campos Magnéticos**<br>Diatermia por campos magnéticos (electroterapia de alta frecuencia: mayor a 10.000 Hz)<br>Ondas cortas<br>Tecarterapia (corrientes D'arsonval)<br>Deep oscillation<br>Sistema superinductivo<br>Láser<br>**Electroterapia**<br>Incluye: Electroanalgesia; Electroestimulación; Electroevaluación; Electroterapia subacuática; Iontoforesis; Terapia combinada<br>Corrientes de frecuencia media (2.000 – 10.000 Hz)<br>Corrientes de frecuencia baja (1 – 1.000 Hz) |




Los agentes físicos usados en fisioterapia que permiten lograr la transferencia de calor lo hacen a través de alguno(s) de los siguientes mecanismos:

- Conducción.
- Convección.
- Radiación.
- Conversión.

## Fisioterapia Invasiva

Comprende tres procedimientos técnicos mínimamente invasivos y diferentes entre sí que implican la introducción de una aguja sólida:

**Punción Seca** (a nivel muscular, ligamentoso o tendíneo): tiene como efecto la relajación muscular o la reagudización de la lesión ligamentosa o tendínea, favoreciendo la reparación.

**Electrólisis Percutánea** (aguja asociada a corriente galvánica en una lesión muscular, ligamentosa o tendínea): tiene como efecto la relajación muscular o la reagudización de la lesión ligamentosa o tendínea, favoreciendo la reparación.

**Neuromodulación:** consiste en una aguja asociada a una corriente analgésica en la proximidad de un nervio sensitivo o mixto, con el fin de inducir analgesia y/o normalización de la función sensitiva, motora y autonómica.

Estos procedimientos eventualmente pueden provocar un hematoma secundario de resolución espontánea (12 a 24 horas). Es necesario

descartar intolerancia a las agujas, alergia al níquel (componente de muchas agujas), coagulopatía, entre otros.

## Terapia Manual, Osteopatía, Quiropraxia

Las diferentes formas de terapias manuales incluyen técnicas de movilización articular, tanto de baja velocidad como de alta velocidad, así como técnicas que actúan sobre los tejidos blandos (cápsulas articulares, ligamentos, músculos, fascias, nervios periféricos). En general, las diferentes técnicas de la terapia manual tienen efectos:

- Mecánicos periféricos: incremento del rango articular de movimiento.
- Neurofisiológicos: disminución transitoria de la tensión muscular.

La mayoría de estas técnicas requieren utilizar tomadas manuales que son requeridas para la ejecución correcta de la técnica. Debe efectuarse un screening ortopédico general antes de su utilización para descartar contraindicaciones que pongan en peligro al atleta. Sobre todo, en la región cervical, es necesario utilizar test premanipulativos. Eventualmente, puede existir un incremento transitorio de la sintomatología.

## Entrenamiento con Restricción del Flujo Sanguíneo (o Kaatsu Training)

Método para el desarrollo de fuerza e hipertrofia muscular usando cargas muy bajas (10 – 30 % de la 1 RM), asociado al uso de un manguito de compresión que reduce el flujo sanguíneo hacia los músculos en actividad, sean del miembro superior o inferior. Es necesario descartar la intolerancia al uso del dispositivo, e hipertensión arterial no controlada. Eventualmente, los atletas refieren dolor de cabeza (lo cual es suficiente para revalorar su aplicación) y sequedad bucal (por lo tanto, es importante observar una hidratación adecuada).

## Vendaje Funcional Selectivo

Técnicas que utilizan diferentes tipos de vendajes (rígido, semirrígido, neuromuscular), cuyo objetivo es entregar diferentes grados de soporte o contención articular o muscular. Se pueden asociar otros elementos (adherentes, lubricantes, protectores, entre otros) los cuales favorecen y potencian el funcionamiento del vendaje. Eventualmente puede provocar irritación cutánea. No puede usarse vendaje adhesivo en atletas con alergia al látex, el cual forma parte de muchos de los adhesivos de estas vendas.

## Métodos de Recuperación Deportiva

Comprenden un conjunto de técnicas que buscan favorecer la recuperación de la fatiga post esfuerzo o post competición. Los procedimientos que son específicamente de índole kinésica corresponden a:

- Crioinmersión o inmersión en tinas de agua fría.
- Compresión neumática.
- Criocompresión.
- Sauna.
- Jacuzzi.
- Masoterapia.

El uso racional y una implementación adecuada de los sistemas de recuperación, cualquiera sea el utilizado, requiere del permanente monitoreo del atleta. Esto permite ajustar las cargas de entrenamiento y gestionar el reposo y la recuperación. Con estos elementos, se evita la acumulación de fatiga, se mantiene el rendimiento deportivo y se favorece la prevención de lesione deportivas.

# Masoterapia Deportiva (no instrumental e instrumental)

Es un conjunto de técnicas manuales y/o instrumentales que se utilizan para contribuir a la rehabilitación de lesiones deportivas, así como también se usa para preparar o recuperar a los atletas tanto de la competencia como del entrenamiento. Es una de las mejores formas de ayudar al músculo y otros tejidos blandos a recuperarse más rápido después de esfuerzos intensos y/o prolongados. Tiene un efecto de drenaje o vaciamiento y de disminución del tono sobre el músculo. Aunque en general es una técnica inocua, en ocasiones en el ámbito deportivo, hay que ejercer presiones muy profundas que pueden ser incómodas. Si se realiza próximo a la competición conviene tener en cuenta que podría disminuir en exceso el tono muscular y, por lo tanto, el rendimiento. A continuación, se encuentra una breve descripción de Masoterapia Deportiva:

Técnicas de la Masoterapia y su Aplicación, **Tabla 7**:

| Técnica | Objetivo(s) | Mecanismo de Acción y Efecto |
|---|---|---|
| **Amasamiento** | **Comprimir y estrujar en masa:** piel, tejido celular subcutáneo, músculos subyacentes. | **Mecanismo de Acción:** estímulo de presiones contrariadas. **Efecto(s):** disminución de percepción de tensión muscular a través de movilizaciones musculares. |
| **Fricción** | **A alta velocidad:** activar musculatura y aumentar temperatura de forma localizada. **A baja velocidad:** lograr un estímulo analgésico localizado. | **Mecanismo de Acción:** fricción rápida; fricción lenta. **Efecto(s):** hiperemia local; estimulación del sistema nervioso parasimpático. |
| **Percusiones** | Estimular repetidas veces una zona para provocar un estímulo de alerta y preparación. | **Mecanismo de Acción:** estímulo constante al sistema nervioso simpático. **Efecto(s):** tonificación y contractilidad. |
| **Effleurage** | Relajar y preparar la zona; que el atleta se interiorice con la terapia. | **Mecanismo de Acción:** estimulación de receptores nerviosos cutáneos. **Efecto(s):** elimina el estrato córneo, mejora la circulación dérmica y la función secretora de las glándulas sebáceas y sudoríparas. |
| **Compresiones Presiones** | Técnicas de presión o fuerza. Trabaja el enfoque de recuperar al atleta. | **Mecanismo de Acción:** se presiona en el vientre muscular y se va deslizando longitudinalmente. **Efecto(s):** busca una respuesta local de cambio de percepción de tensión y rigidez. Basado en la percepción del dolor. |
| **Pellizcamiento** | Técnica para valorar. Técnica parte del tratamiento. | **Mecanismo de Acción:** manejo del tejido dérmico **Efecto(s):** flexibiliza el tejido cicatrizal, mayor elasticidad de la dermis. |

| | | |
|---|---|---|
| **Sucusión** | Ayuda a relajar y preparar la zona tratada, para posteriormente movilizar y elongar. | **Mecanismo de Acción:** estimulación del retorno venoso y sistema linfático.<br>**Efecto(s):** aceleración de la circulación y restablecimiento del tono muscular. Puede movilizar edemas. |
| **Rodamientos** | Facilita el calentamiento deportivo y prepara la zona para maniobras de Sucusión. | **Mecanismo de Acción:** movilización de tejidos blandos y nutrición de tejidos.<br>**Efecto(s):** relajación y oxigenación de tejidos. |
| **Foam roller** | Antes de la actividad deportiva, activar musculatura y mejorar RAM.<br>Post actividad deportiva, reducir DOMS y facilitar recuperación. | **Mecanismo de Acción:** gate control.<br>**Efecto(s):** mejora de RAM hasta diez minutos posterior a su aplicación, sin pérdida de rendimiento deportivo, reducción del DOMS y aumento del umbral del dolor a la palpación. |
| **Cupping** | Activar circulación sanguínea. | **Mecanismo de Acción:** succión.<br>**Efecto(s):** hiperemia local, aumento de circulación sanguínea y linfática, disminución de la sensación dolorosa, aumento del metabolismo y oxigenación tisular. |

Técnicas de Masoterapia que Deben Usarse en el Tratamiento de Lesiones Deportivas, **Tabla 8**:

| Lesión Deportiva | Técnica(s) a Utilizar |
|---|---|
| **Contractura Muscular** | Rodamientos; Pellizcos; Amasamientos; Eufleragge. |
| **Desgarro Muscular** | Effleurage; Amasamientos; Presiones |
| **Edema** | Effleurage; Amasamientos; Presiones; Fricciones; Compresiones |
| **Dolor Muscular de Inicio Tardío (DOMS)** | Eufleragge; Amasamiento ; Pellizcos ; Rodamientos |
| **Contusión Muscular** | Eufleragge; Sucusión |
| **Edema Muscular** | Sucusión; Effleurage; Amasamientos; Presiones; Effleurage; Fricciones; Compresiones |
| **Tendinopatía** | Eufleragge; Sucusión; Amasamiento; Fricción; Rodamientos; Foam Roller |

Técnicas de Masoterapia que Deben Usarse Previo a la Competencia, **Tabla 9**:

| Segmento | Técnicas | Secuencia |
|---|---|---|
| **Tronco** | Percusiones<br>Vibraciones<br>Foam Roller<br>Effleurage | 1. Effleurage Rápidos<br>2. Percusiones<br>3. Vibraciones<br>4. Foam Roller |
| **Cuello** | Percusiones<br>Vibraciones | 1. Vibraciones<br>2. Percusiones |
| **Miembros superiores** | Fricciones<br>Effleurage<br>Percusiones | 1. Effleurage<br>2. Vibraciones<br>3. Percusiones |
| **Miembros Inferiores** | Fricciones<br>Percusiones<br>Foam Roller | 1. Percusiones<br>2. Fricciones<br>3. Foam Roller |

Técnicas de Masoterapia que Deben Usarse en la Recuperación Deportiva, **Tabla 10**:

| Segmento Corporal | Técnica(s) a Usar | Secuencia de la(s) Técnica(s) a Usar |
|---|---|---|
| Tronco | Effleurage<br>Amasamientos<br>Compresiones<br>Fricciones | 1. Effleurage<br>2. Amasamientos<br>3. Effleurage<br>4. Compresiones<br>5. Fricciones<br>6. Effleurage |
| Cuello | Amasamientos<br>Fricciones<br>Compresiones | 1. Amasamientos<br>2. Compresiones<br>3. Amasamientos<br>4. Fricciones |
| Miembro Superiores | Amasamientos<br>Compresiones<br>Fricciones<br>Effleurage | 1. Effleurage<br>2. Amasamientos<br>3. Fricciones<br>4. Amasamientos<br>5. Fricciones |
| Miembros Inferiores | Amasamientos<br>Fricciones<br>Effleurage<br>Compresiones | 1. Effleurage<br>2 Amasamientos<br>3. Fricciones<br>4. Amasamientos<br>5. Compresiones<br>6. Fricciones<br>7. Effleurage |

## Kinesiterapia o Ejercicio Terapéutico

El Ejercicio Terapéutico (ET) corresponde a movimientos diseñados para restaurar la función corporal en el menor tiempo posible, para así obtener mejoras en la capacidad de rendimiento físico. Puede ser usado para mantener o incrementar:

- Flexibilidad
- Fuerza
- Velocidad
- Resistencia Muscular Local
- Resistencia General (Cardiovascular)
- Equilibrio
- Control Neuromuscular

Entre las múltiples clasificaciones del ET, podemos aplicar una categorización en dos grandes grupos de ejercicios: los estáticos y los dinámicos. Los ejercicios estáticos son aquellos en que no existe movimiento articular, mientras que los ejercicios dinámicos comprenden aquellos en los que sí existe movimiento articular. Por otra parte, el concepto de activo se refiere a la presencia de contracción muscular activa en el músculo o en los grupos musculares objetivos del ejercicio, mientras que pasivo se refiere a la ausencia de contracción muscular. Considerando los conceptos anteriores, se puede plantear la siguiente taxonomía (**Tabla 11**):

**Tabla 11**. Taxonomía del ejercicio terapéutico.

| Ejercicios Estáticos | Ejercicios Dinámicos |
|---|---|
| **Activo** | |
| Dinamómetros isométricos | Activo Libre |
| Estiramiento muscular estático con FNP | Movilidad articular |
| | Estiramiento muscular balístico |
| | Activo Resistido |
| | Bandas elásticas |
| | Pesas libres |
| | Máquinas de resistencia fija y movimiento guiado |
| | Máquinas de resistencia variable y movimiento guiado |
| | Máquinas de resistencia fija y movimiento funcional (cables) |
| | Sistemas de suspensión |
| | Pesas rusas |
| | Plataformas vibratorias |
| | Barras vibratorias |
| | Sistemas pneumáticos |
| | Sistemas inerciales |
| | Dinamómetros isocinéticos |
| | Natación terapéutica |
| **Pasivo** | |
| Estiramiento estático pasivo | Movilidad articular |
| Espray & Elongación | Movilización articular |
| Elongación con electroestimulación | Estiramiento muscular con FNP |

Los programas de ET deben ser individualizados en cuanto a intensidad, frecuencia, duración de los ejercicios, deterioros específicos, grado de recuperación y condición física actual. Además, debe considerar: (i) tipo y grado de la afección, (ii) objetivo de los ejercicios, (iii) secuencia de los ejercicios, (iv) progresión de las actividades, y (v) precauciones y contraindicaciones.

*El Ejercicio como Estímulo Mecánico y Biológico*

El ejercicio físico y el ejercicio terapéutico finalmente funcionan como estímulos biológicos que inducen respuestas adaptativas en el organismo. En el caso del aparato locomotor, estas respuestas tienen su origen en el estímulo mecánico que recibe cada tejido (ligamento, musculo, tendón, cartílago articular, hueso, entre otros). Las respuestas biológicas pueden incluir: atrofia tisular, eutrofia, hipertrofia o diferentes grados de daño tisular, tal como se esquematiza en la **Figura 6**.

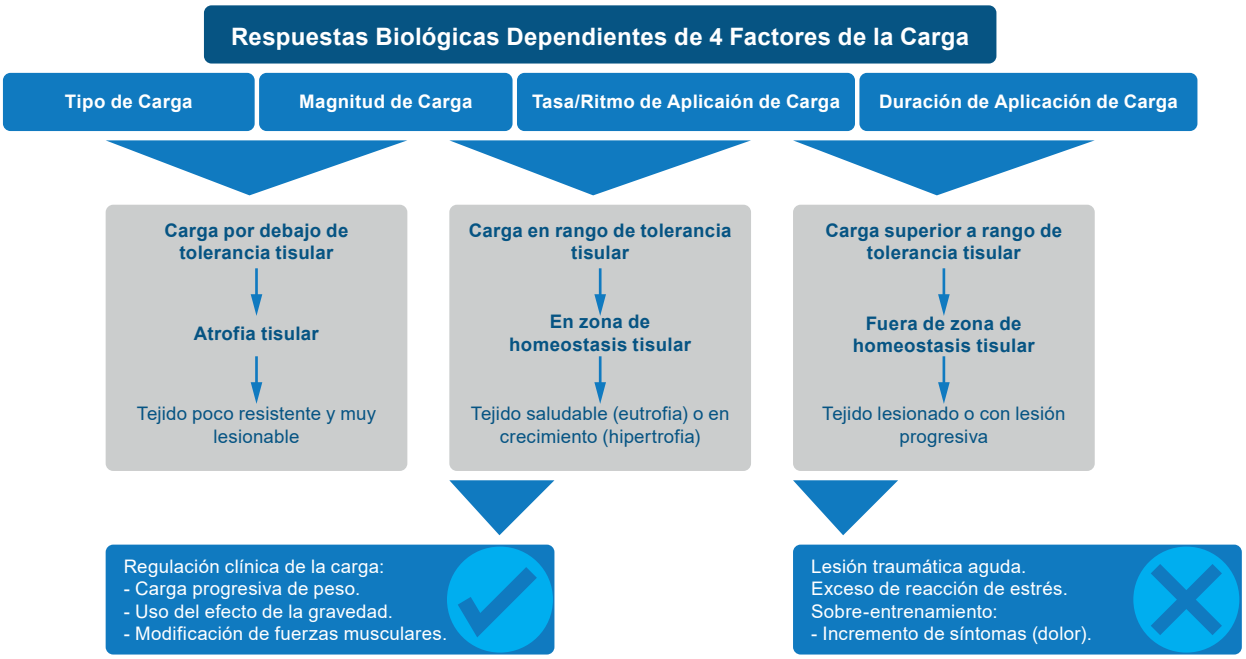



**Figura 6**: Respuesta al estrés mecánico en los tejidos biológicos.

*Clasificación de los Ejercicios de Rehabilitación*

Los ejercicios que se usan en la rehabilitación musculoesquelética y deportiva pueden clasificarse bajo diferentes criterios[15,16]. Una de las taxonomías más generalizadas es la de dividirlos en cadena cinética abierta y cerrada[15,16]. Sin embargo, hay otras menos conocidas que también serán descritas.

*Ejercicios en Cadena Cinética*

El concepto de cadena cinética tuvo un proceso que comienza con **Franz Reuleaux** (1829 – 1905), ingeniero mecánico alemán y considerado el padre de la cinética, propone el concepto de **ligadura** (1875) y plantea que "segmentos rígidos conectados por uniones móviles crean un sistema (cerrado) en el que el movimiento de un segmento afecta el movimiento de los demás segmentos de la cadena". Posteriormente, **Arthur Steindler** (1878 – 1964), cirujano ortopédico austríaco aplica a la naciente kinesiología humana, conceptos desde la teoría de la ingeniería mecánica: "eslabones rígidos conectados por puntos móviles forman una unidad motora compleja". Considerando a la carga de la articulación terminal (la cual fue mal definida por Steindler), pueden observarse dos tipos de cadenas:

- Cadena cinética abierta (ECCA).
- Cadena cinética cerrada (ECCC).

En la **cadena cinética abierta** el segmento terminal está libre para moverse tal como sucede con la oscilación de la extremidad inferior durante la marcha o en el movimiento de la mano al decir adiós. Por lo tanto, en un ejercicio en **cadena cinética abierta** se observa lo siguiente:

- El segmento terminal está libre para moverse individualmente.
- El movimiento de una articulación no genera un patrón de movimiento predecible de las articulaciones que forman la cadena.

En la **cadena cinética cerrada** el segmento terminal encuentra una resistencia considerable que impide o restringe su movimiento. ¿Cuánta resistencia?, esto tampoco fue descrito por Steindler. Esto se presenta en la extremidad en apoyo al subir o bajar escaleras. También en el apoyo de las manos al usar bastones para deambular. Por lo tanto, en un ejercicio en **cadena cinética cerrada** se observa lo siguiente:

- El segmento final está fijo o se encuentra contra una resistencia externa importante que impide o frena su movimiento (por lo tanto, la extremidad puede o no moverse).
- El movimiento de una articulación producirá un patrón de movimiento predecible del resto de las articulaciones que forman la cadena.

Para favorecer el uso apropiado de estos términos, se debe tener en cuenta que:

- Steindler no definió exactamente qué es una resistencia considerable, lo que ha creado confusión para aplicar adecuadamente las expresiones: CCA, CCC, ECCA, ECCC y sus aplicaciones.
- En el concepto original de la ingeniería mecánica los segmentos extremos proximal y distal de la cadena permanecen fijos. Debido a esto, en el cuerpo humano no existen patrones reales de CCC, con excepción del ejercicio isométrico, pues es en este caso particular en que no existe movimiento proximal ni distal[15,16].

A continuación, se describen las principales características de los ejercicios de cadena cinética abierta y cerrada (**Tabla 12**):

**Tabla 12**. Características de los ECCA y ECCC.

| Ejercicios de Cadena Cinética Abierta |
|---|
| El segmento distal puede estar libre para moverse en el espacio. |
| El segmento distal puede estar en contacto con un objeto que no está fijo. |
| Existe independencia del movimiento articular (movimientos aislados). |
| Existe menor compresión articular. |
| Existe mayor cizalle articular. |
| Existe menor activación de mecanorreceptores articulares. |
| La contracción muscular tiende a ser predominantemente aislada a una articulación. |
| La estabilización articular proviene de los estabilizadores pasivos y activos. |
| Los movimientos, en general, son funcionales para las EESS. |
| Los movimientos, en general, no son funcionales para las EEII. |

**Ejercicios de Cadena Cinética Cerrada**

El segmento distal está fijo contra un objeto que puede o no moverse.
Existe interdependencia del movimiento articular.
Los movimientos de articulaciones proximales y distales son predecibles.
Existen co-contracciones o co-activaciones, las que incrementan la estabilidad.
Se producen fuerzas de compresión articular elevadas las que incrementan la estabilidad.
El movimiento puede ser en muchos planos y con múltiples ejes.
Se estimulan mecanorreceptores articulares, lo que favorece la propiocepción (control sensoriomotor).
Los movimientos, en general, no son funcionales para las EESS.
Los movimientos, en general, son funcionales para la EEII.

Existen otras clasificaciones para diferenciar los distintos ejercicios que se usan en la rehabilitación musculoesquelética: (i) Randal A. Palmitier (1991); (ii) Charles J. Dillman (1994), y (iii) Kevin Wilk (1997).

**Randal A Palmitier** (1991) propone dos términos:

**Ejercicios de aislamiento articular** para referirse a aquellos ejercicios que aíslan un movimiento articular. Plantea ejemplos con: banco de cuádriceps; banco de isquiotibiales; ejercicios de tobillo contra banda elástica.

**Ejercicios en cadena cinética** que son los ejercicios compuestos por movimientos de algunos segmentos en una cadena ligada: sentadilla; prensa en banco.

**Charles J Dillman** (1994) construye otra categorización considerando la movilidad del segmento distal (al que denomina límite) y la aplicación de una carga externa, planteando:

- **Límite fijo con carga externa:** es un ejercicio que equivale a un ECCC.
- **Límite móvil con carga externa:** es un ejercicio que equivale a ECCA.
- **Límite móvil sin carga externa:** lo que constituye un sistema parcialmente cerrado y se ejemplifica con el pie apoyado en el pedal.

Por último, Kevin Wilk (1997) plantea la existencia de un continuum de ejercicios con dos situaciones extremas:

- Grado extremo de ECCC: sentadilla isométrica.
- Grado extremo de ECCA: fase aérea del salto.

*Flexibilidad*

El concepto genérico de flexibilidad la define como la capacidad de los cuerpos para adoptar una determinada forma sin romperse. Desde la perspectiva de las cualidades motoras, puede entenderse como una habilidad basada en dos componentes de las que depende: la movilidad articular y la extensibilidad muscular (**Figura 7**). La extensibilidad muscular es la capacidad de un músculo para alargarse sin sufrir un daño estructural. La movilidad articular corresponde a la capacidad de algunas articulaciones para lograr el máximo rango de movimiento posible. Por lo tanto, la flexibilidad permite lograr con facilidad el máximo recorrido articular en diferentes posiciones, sin alterar la estabilidad funcional de la o las articulaciones, ni dañar el o los músculos involucrados. Es importante agregar lo habitual que es usar el término "movilidad" como sinónimo de "flexibilidad", pero también es necesario saber que en ocasiones se usa como un concepto diferente referido específicamente a las articulaciones (movilidad articular). En la expresión de la flexibilidad influyen diferentes elementos que actúan como frenos de ella, éstos son neurogénicos, miogénicos y artrogénicos. El freno neurogénico está dado por el tono muscular (tono postural y tono muscular de reposo). El freno miogénico se debe a la rigidez muscular pasiva (viscoelasticidad muscular) y activa. El freno artrogénico incluye la arquitectura articular y la tensión capsulo-ligamentosa. Además de los mencionados, deben tenerse en consideración otros elementos, como la piel, el tejido subcutáneo y las resistencias friccionales entre capas de tejidos.

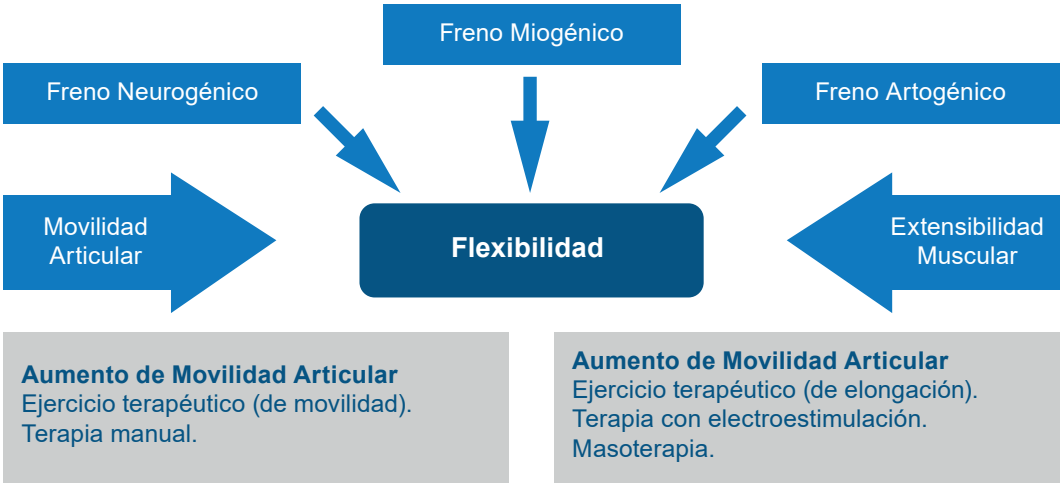



**Figura 7**. Componentes de la flexibilidad.

Entre los beneficios que aporta la flexibilidad, se pueden considerar los siguientes:

- Promueve la salud de músculos y articulaciones.
- Mantiene / mejora la extensibilidad muscular.
- Mantiene / mejora la movilidad articular.
- Mejora el rendimiento motor (actividades de la vida diaria en general y en los deportes que requieren amplitud de movimientos).
- Ayuda en la prevención de lesiones por desbalances musculares de flexibilidad.
- Ayuda en la prevención de patologías ortopédicas – posturales.
- Reduce aparición / intensidad del dolor muscular post ejercicio.

En cuanto a la capacidad de estiramiento muscular, existe una variedad de técnicas de elongación que se usan tanto en el ámbito del entrenamiento deportivo como en rehabilitación. Una clasificación de estos métodos puede ser la siguiente:

- Estiramientos balísticos dinámicos.
- Estiramientos estáticos.
- Estiramientos con la técnica de facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP).
- Otras técnicas: (i) elongación & spray (cloruro de etilo), (ii) elongación con electroestimulación, (iii) masoterapia.

*Fuerza, Potencia y Resistencia Muscular*

La fuerza muscular puede definirse como una cualidad física básica que corresponde a la capacidad de un músculo, grupo muscular o segmento(s) del cuerpo para generar la tensión necesaria que permite: iniciar, controlar o detener un movimiento o para mantener una postura determinada. Tanto la fuerza, la potencia y la resistencia muscular, son cualidades importantes a tener en cuenta durante la rehabilitación del atleta. Interrelacionadas entre sí, tienen como común denominador a las propiedades contráctiles del músculo. El principio fundamental del entrenamiento de la fuerza no es nuevo y los métodos que se han empleado para su desarrollo son muy variados y presentan características comunes y particulares. En relación con la denominación de las acciones musculares, existe una variedad de términos que pueden crear confusión si no se entiende el origen y significado de tales denominaciones. En este contexto, una clasificación de las acciones musculares puede hacerse en base a tres criterios:

- Cambios en la longitud del músculo.
- Cambios en el nivel de tensión muscular desarrollada.
- Cambios en la velocidad angular de movimiento.

De acuerdo a lo anterior, aparece una cantidad de denominaciones que sirven para orientar su definición (**Tabla 13**):

**Tabla 13**. Clasificación de las acciones musculares.

| Variable | Longitud del Músculo | Tensión Desarrollada | Velocidad Angular |
|---|---|---|---|
| **Constante** | Isométrica | Isotónica | Isocinética |
| **Disminución** | Concéntrica | Teletónica | Bradicinética |
| **Incremento** | Excéntrica | Auxotónica | Taquicinética |
| **Combinación** | Alocéntrica | Alotónica | Alocinética |

Para seleccionar el método de entrenamiento de fuerza adecuado a los requerimientos de los objetivos del plan general de tratamiento, deben tenerse ciertas consideraciones:

- Estado actual de entrenamiento (valoraciones previas y actuales).
- Objetivo del programa (fuerza, hipertrofia, potencia, entre otros).
- Ocupación del paciente (atleta).
- Deporte del paciente (atleta).
- Consideraciones patológicas presentes y su evolución temporal.
- Consideraciones quirúrgicas presentes y su evolución temporal.
- Consideraciones mecánicas y patomecánicas asociadas a los aspectos patológicos / quirúrgicos.
- Medios disponibles para desarrollar el plan de entrenamiento.

Una vez seleccionado el método de fortalecimiento muscular, se deben seleccionar los ejercicios que se ajusten a los objetivos:

- Cadena cinética abierta o cadena cinética cerrada.
- Músculos específicos utilizados.
- Ángulos.
- Arcos de movimiento.
- Posiciones.
- Tempo.
- Metabolismo primario utilizado.
- Experiencia técnica en ejercicios de fuerza.
- Prevención de lesiones.
- Asociación a equilibrio estático / dinámico.
- Existencia de hiperlaxitud / inestabilidad.
- Calidad del movimiento.

Posteriormente a este paso, se desarrolla el programa de entrenamiento estando muy atento a la calidad en la ejecución del movimiento y en la tolerancia del atleta a la carga aplicada. Si es necesario, se deben introducir nuevas consideraciones, ajustes y/o adaptaciones de los ejercicios o del programa, incluso del propio método. Esto nos llevará a una nueva valoración para comenzar un nuevo ciclo.

*Equilibrio y Control Neuromuscular*

La habilidad para responder eficientemente a fuerzas desestabilizantes es una capacidad que puede verse afectada juntamente con una lesión ortopédica, y cuya restitución hasta niveles normales y funcionales, no necesariamente acompaña a la reparación tisular. Es por ello que un componente fundamental de la rehabilitación deportiva corresponde al llamado entrenamiento propioceptivo. Esta denominación es parcial si se considera que lo que se intenta reeducar con dicho entrenamiento es la respuesta muscular estabilizadora o protectora de la articulación, lo que corresponde al ámbito motor y no sensitivo. Por lo anterior, es más apropiado usar el concepto de **entrenamiento del control neuromuscular** para describir los ejercicios que, usando la propiocepción, desarrollan la **estabilidad articular dinámica**. Estos ejercicios pueden introducirse en un nivel básico desde las etapas más tempranas de la rehabilitación deportiva. Posteriormente, y en la medida que progresa tanto la evolución de la reparación tisular como las ganancias de fuerza y resistencia, los ejercicios usados pueden incrementarse en complejidad e intensidad, teniendo presente la funcionalidad que dichas actividades representen para la práctica deportiva específica. Existe una serie de conceptos que se deben tener presentes al momento de seleccionar e implementar un programa de entrenamiento (o de reeducación) en este ámbito. Entre las progresiones funcionales más usadas se pueden mencionar[17]:

- Actividades con y sin participación del sistema visual.
- Variaciones en el tamaño de la base de sustentación.
- Elevación del centro de gravedad.
- Uso de superficies inestables.
- Reducción del tiempo para realizar la tarea.
- Asociar actividades de precisión a una tarea de estabilización.
- Perturbación generada externamente, entre otros.

En este contexto es importante considerar los componentes de la **estabilidad articular** (específicamente de las articulaciones sinoviales), la cual depende de cuatro factores:

**I. Arquitectura articular:**

- Forma de las superficies articulares, lo que determina distintos grados de congruencia o incongruencia.
- Tamaño de las superficies articulares.
- Disposición de las superficies articulares, influyendo en un mayor o menor posicionamiento entre ellas.

**II. Tensión de capsulo-ligamentosa:** la cápsula articular y los ligamentos pueden desarrollar diferentes grados de tensión, lo que se debe al mayor o menor distanciamiento del origen e inserción de dichas estructuras.

**III. Presión subatmosférica intra-articular:** todas las articulaciones sinoviales poseen una presión intra-articular subatmosférica de grado variable que puede contribuir a la estabilidad de la articulación.

**IV. Tensión o tono de músculos peri-articulares:** el tono de los músculos peri-articulares funciona como un estabilizador dinámico o activo que refuerza al componente estático o pasivo (los tres primeros elementos descritos). Esta tensión muscular puede ajustarse de manera graduada a través de mecanismos anticipatorios que surgen con el desarrollo motor y con el entrenamiento neuromuscular.

Estas capacidades de estabilización en las articulaciones son muy importantes para que ellas puedan funcionar como **transmisores biológicos de carga**, y es relevante que el atleta no tenga un déficit y/o alteraciones en el sistema sensoriomotor debido a que se ha demostrado que dicha alteración implica un incremento en el riesgo de lesión como ha sido descrito por[17]:

- Alteraciones de los patrones de movimiento.
- Stiffness (rigidez) muscular inadecuado.
- Déficit en el control postural.
- Alteraciones en el sistema propioceptivo.
- Déficit en la activación muscular del tronco.
- Déficit en los mecanismos anticipatorios.

El entrenamiento del control neuromuscular presenta tres ámbitos de aplicación que se señalan en la **Tabla 14**.

**Tabla 14.** Ámbitos de Aplicación del Entrenamiento del Control Neuromuscular.

| | |
|---|---|
| **Atleta Lesionado** | Ayuda en la recuperación biológica / tisular |
| **Atleta en Reintegro Deportivo** | Mejora en las tareas específicas de reintegro |
| **Atleta en Competición** | Mejora en el rendimiento funcional y deportivo |

Para lograr una adecuada **estabilidad articular dinámica** se requiere del apropiado funcionamiento del **sistema sensoriomotor** (**Figura 8**), el cual incluye los componentes sensoriales, motores, de integración y procesamiento central involucrados en lograr y/o mantener la estabilidad articular funcional. Este sistema es capaz de organizar respuestas anticipatorias y compensatorias para mantener la indemnidad articular. Los objetivos de las técnicas de entrenamiento neuromuscular son:

- Desarrollar respuestas compensatorias y anticipatorias.
- Favorecer la aparición de respuestas automáticas y protectoras.
- Exponer al sujeto a su contexto funcional (ocupación / deporte).

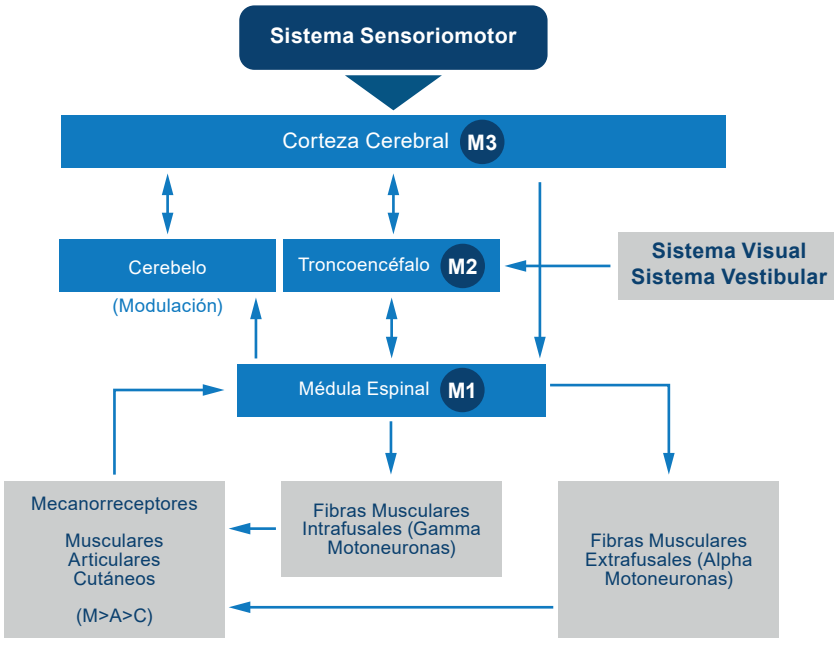



**Figura 8**. Componentes del sistema sensoriomotor.

Para el logro de estos objetivos, las técnicas de entrenamiento neuromuscular consisten en la aplicación y/o el uso de:

- **Ejercicios de:**
  - Equilibrio.
  - Aceleración / desaceleración.
  - Desplazamientos laterales.
  - Equilibrio sobre superficie inestables.
  - Superficie inestable asociada a cargas multidireccionales.
  - Progresar desde esfuerzos conscientes a esfuerzos subconscientes.

Existen ciertas características de los programas de entrenamiento neuromuscular:

- Nunca es rápido, puede demorar desde semanas hasta 4 - 6 meses. Requiere mucha dedicación del atleta.
- Utiliza el aprendizaje motor, el cual a su vez muestra una serie de fases:
  - Fase cognitiva: se aprende.
  - Fase asociativa: se perfecciona.
  - Fase autonómica: se hace inconsciente o casi inconsciente (subcortical).
- El clínico debe saber qué movimiento es defectuoso: por lo tanto, es muy importante la valoración para el diseño del programa.
- El clínico debe saber qué estructura interfiere con la ejecución: por lo cual, es muy importante la valoración inicial.

Finalmente, el entrenamiento neuromuscular es capaz de actuar generando una **disminución del déficit sensoriomotor**, lo que traerá como consecuencia:

**1)** Un incremento en la capacidad de equilibrio (balance) estático y dinámico.

**2)** Una mejoría en la ejecución de los patrones de activación muscular.

Según el atleta, los puntos descritos arriba tendrán uno de dos efectos positivos:

- Normaliza el riesgo de sufrir lesión deportiva, cuando este está elevado.
- Reduce el riesgo de sufrir lesión deportiva, cuando el nivel de riesgo es el normal y se optimiza la ejecución de los patrones de activación muscular.

Finalmente, el proceso por el cual el control motor desarrolla su función acorde a los **grados de libertad** (i.e., a partir de la posibilidad de combinar de diversas maneras los diferentes componentes del aparato locomotor (cientos de huesos, articulaciones y músculos)). Esta gran diversidad produce el problema de la **abundancia motora** (i.e., se puede lograr una tarea a través de diferentes combinaciones de los distintos componentes del aparato locomotor). Esto permite disponer de una amplia **variabilidad motora**, pero que requiere de la participación de mecanismos de control y coordinación para lograr acciones motoras eficientes y eficaces. El **control motor** (hasta ahora explicado sólo por teorías de control motor) logra resolver el problema de la abundancia a través de diferentes mecanismos (eliminación, optimización, sinergia), que permiten generar el **comando motor** u **orden neural** para iniciar el movimiento. La orden neural usará principios básicos neuromusculares (co-activación agonista / antagonista; activación recíproca agonista / antagonista; diferentes tipos básicos de acciones musculares), para lograr un movimiento coordinado y eficiente que responda a la demanda motora planteada.

## Tributación del Área De Kinesiología Deportiva a los Pilares Estratégicos de la UCAD

Los Pilares Estratégicos de la UCAD se componen de: Pilar de Rendimiento Deportivo; Pilar de Prevención de Lesiones y Enfermedades;

Pilar de Evidencia Diagnóstica, Rehabilitación y Reintegro Deportivo; Pilar de Perfeccionamiento, Investigación, Tecnología e Innovación.

## Pilar de Rendimiento Deportivo

Este pilar se encuentra relacionado con actividades y procedimientos sistemáticos que permiten valorar y monitorear el rendimiento del atleta en todo el proceso de preparación y competencia. En este contexto, el área de Kinesiología Deportiva principalmente apoya el mantenimiento de la salud de los atletas, lo cual se hace mediante la contribución a la recuperación deportiva. Esto se logra con las siguientes prestaciones:

- **Técnicas de recuperación deportiva:**
  - Masoterapia regenerativa.
  - Flexibilización / Elongación muscular.
  - Sistemas compresivos.
  - Crioinmersión.
  - Sauna.
  - Jacuzzi.
- **Vendaje funcional selectivo:**
  - Rígido.
  - Semirrígido.
  - Elástico.
- **Técnicas específicas de terapia manual que mejoran el rendimiento locomotor y neuromuscular:**
  - Terapia manual de baja velocidad y de alta velocidad.
  - Neurodinamia.

## Pilar de Prevención de Lesiones Deportivas y Enfermedades

Este pilar está relacionado con actividades y procedimientos sistemáticos que permiten valorar la presencia de factores de riesgo asociados al deporte practicado, permitiendo una retroalimentación que

facilite tomar las medidas correctivas necesarias para prevenir lesiones o enfermedades durante el proceso de preparación y de competencia (**Figura 9**).

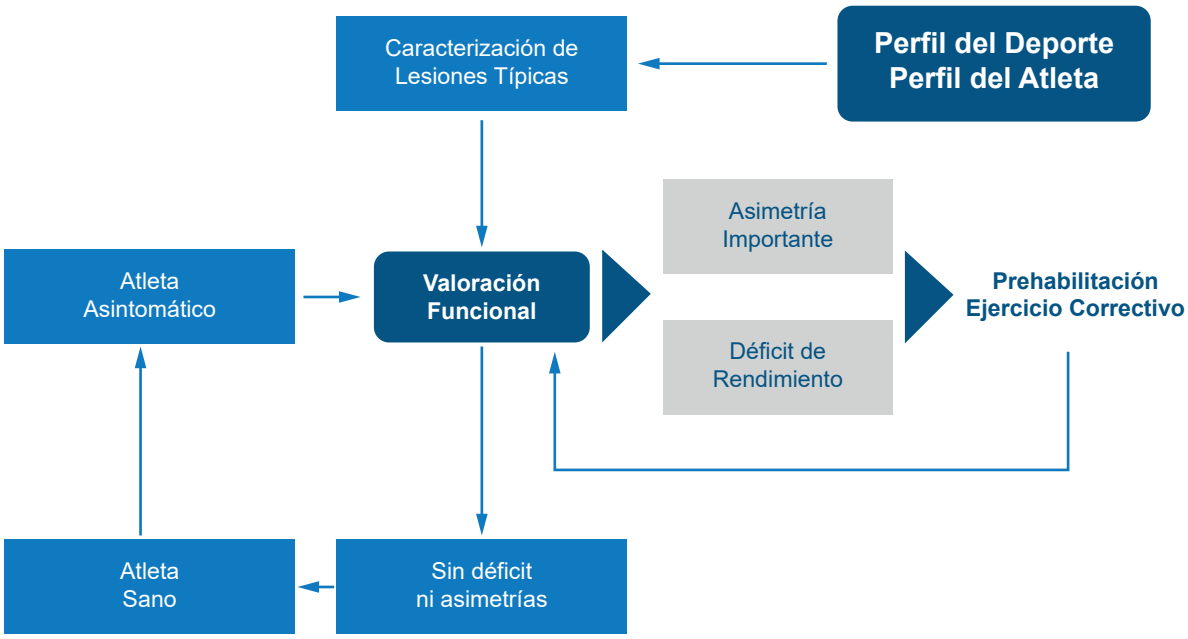



**Figura 9**. Interacción entre el perfil del deporte y del atleta, la caracterización de las lesiones típicas del deporte, la valoración funcional y las medidas de intervención preventiva o correctiva en el atleta.

La **Tabla 14** muestra un ejemplo de descripción del perfil de riesgo de lesión que permite orientar e integrar el Perfil del Deporte, el Perfil del Atleta y el monitoreo constante como estrategia de prevención de lesiones.

**Tabla 14**. Ejemplo de descripción del perfil de riesgo de lesión en Gimnasia Artística.

| Deportes | Lesiones Deportivas más frecuentes | Descripción del Mecanismo Lesivo | Estrategias de Prevención de Lesiones | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Valoración | Intervención |
| Gimnasia Artística | Muñecas en hombres: fractura y fractura por estrés de la epífisis distal radial, fractura del escafoides, lesión del TFC | Traumática o sobreuso por dorsiflexión con carga intensas y/o repetitivas en diferentes direcciones. | CKCUEST | Taping, crioterapia y TENS post sesión de entrenamiento dolorosa, ejercicios de fortalecimiento y de estabilización de la muñeca (durante el calentamiento). Disminución de la carga de entrenamiento y alternar entrenamiento que produce compresión con el que produce distracción. Educación y valoración para detección temprana. |
| | Tobillos en mujeres: esguinces. | Aguda: por inversión durante el aterrizaje. | Triple Hop Test | Taping, ejercicios de recepción después de un salto. Ejercicios de control neuromuscular de extremidades inferiores y ejercicios de cambio de dirección. Fortalecimiento general y pliométrico. |
| | Zona lumbar ambos sexos: dolor, discopatía y hernia discal. | Impactos y estrés mecánico intensos y repetitivos, efectos que están aumentados cuando existe una inestabilidad de la zona por inadecuada contracción/activación del CORE | FMS y CORE | Controlar el dolor (CHC y TENS). Ejercicios de control neuromuscular de la zona lumbar generales y específicos usando posición del deporte (durante el calentamiento). Fortalecimiento isométrico y dinámico de la musculatura del CORE. |

El área de Kinesiología Deportiva contribuye a la prevención de lesiones a través de dos líneas de acción. La primera emerge a partir de la aplicación de valoraciones funcionales y valoraciones clínicas y/o kinésicas, en las que se detectan condiciones posturales, de movilidad, de estabilidad y/o de control motor cuya alteración puede llegar a favorecer la presentación de lesiones deportivas.

- **Valoraciones funcionales:**
  - Fuerza.
  - Potencia.
  - Agilidad.
  - Equilibrio.
  - Control neuromuscular.

- **Valoración kinésica:**
  - Postural.
  - Musculoesquelética.
  - Articular.
  - Muscular.
  - Neurológica.
  - Marcha.
  - Carrera.
  - Salto.

A su vez, las valoraciones funcionales se agrupan por: (i) segmento corporal, (ii) diagnóstico clínico, y (iii) deporte. A partir de la valoración realizada, se confecciona un plan de intervención basado en ejercicio terapéutico el cual busca corregir los deterioros encontrados y reforzar los aspectos físicos que se encuentran en un nivel acorde al desempeño atlético. Para el desarrollo adecuado de esta línea se requiere la generación de un perfil o caracterización deportiva (ver **Capítulo 1**). El plan de intervención basado en ejercicio, también se conoce como **prehabilitación** y estará orientado al desarrollo de una o más de las siguientes cualidades:

- Fuerza
- Potencia
- Velocidad
- Agilidad
- Resistencia
- Equilibrio
- Coordinación neuromuscular
- Control neuromuscular

La segunda línea de actuación que contribuye a la prevención de lesiones deportivas es mediante la contribución al proceso de recuperación deportiva, línea que fue descrita previamente.

# Área de Evidencia Diagnóstica en Lesiones Deportivas, Rehabilitación y Reintegro Deportivo

Conjunto de valoraciones y procedimientos que buscan pesquisar las causas que expliquen la persistencia de una lesión, un cuadro doloroso o una enfermedad, lo cual impide el normal desempeño deportivo. Esto permite mejorar los tratamientos y el monitoreo de los cambios inducidos por diferentes intervenciones realizadas durante el proceso de rehabilitación y reintegro del atleta. La tributación al diagnóstico de lesiones deportivas se efectúa de manera directa e integrada con otras áreas de la UCAD (medicina, biomecánica, nutrición, psicología, fisiología) a partir de la valoración funcional, clínica y/o kinésica. La tributación a la **rehabilitación deportiva** se hace en forma directa debido a que el Área de Kinesiología Deportiva guía el proceso de rehabilitación deportiva desde la fase aguda hasta lograr el **reintegro deportivo**. El reintegro deportivo corresponde a la última etapa de la rehabilitación deportiva y culmina con el **alta médica deportiva**. Durante este proceso se utiliza una amplia gama de herramientas de intervención kinésica:

- Fisioterapia.
- Vendaje funcional selectivo.
- Ejercicio terapéutico.
- Terapia manual, entre otras.

En el caso de diagnósticos y/o segmentos específicos, se debe contar con monitoreo y valoraciones funcionales y biomecánicas para documentar el progreso de los atletas. Es relevante contar con un estándar de **criterios de alta** para autorizar el reintegro deportivo, sea por segmento o por diagnóstico clínico (requiere construcción y aportación desde todas las áreas de la UCAD). La tributación al reintegro deportivo también es de manera directa debido a que el proceso de reintegro deportivo es parte de la rehabilitación deportiva y se desarrolla hasta lograr el alta deportiva. En el caso de diagnósticos específicos o de segmentos específicos, se debe contar con valoraciones

funcionales y biomecánicas para documentar información relevante con el objetivo de que el médico tratante autorice el alta deportiva del atleta con el mínimo riesgo de relesión. Es relevante contar con un estándar de criterios de alta para autorizar el reintegro deportivo, sea por segmento o por diagnóstico clínico. Esto requiere el aporte desde todas las áreas de la UCAD.

## Pilar de Perfeccionamiento, Investigación, Tecnología e Innovación

*Perfeccionamiento*

Este componente comprende un conjunto de actividades organizadas curricularmente que buscan la entrega de conocimientos, destrezas y/o actitudes propias de las ciencias aplicada al deporte, a través de procedimientos pedagógicos orientados a profesionales, técnicos, entrenadores o atletas que se relacionen directamente con el rendimiento y/o con la práctica. El Área de Kinesiología Deportiva contribuye directamente mediante las siguientes acciones:

- Educación del atleta y su equipo técnico.
- Participación en reuniones técnicas / metodológicas inter/transdisciplinarias con el resto de los integrantes de la UCAD.
- Participación en instancias de divulgación masiva.
- Publicación de artículos científicos y/o relevantes en página web de la UCAD.

*Investigación, Tecnología e Innovación*

Consiste en el conjunto de actividades guiadas por el método científico que contengan un valor teórico, metodológico y de aplicación práctica en el ámbito del deporte de alto rendimiento, y que culminen con productos de investigación. El área de Kinesiología Deportiva contribuye de modo directo mediante la:

- Sistematización de los diferentes procedimientos valorativos, de intervención y de monitoreo que se efectúan el área.
- Contribución a la caracterización del perfil de lesiones deportivas por segmento corporal o por deporte.

De esta manera emergen líneas de investigación aplicada en las siguientes direcciones:

- Efectos de las técnicas y procedimientos de intervención de la
- kinesiología y masoterapia.
- Valoración clínica.
- Valoración funcional.
- Prevención de lesiones deportivas.

## Valoraciones

A continuación, se describen las valoraciones seleccionadas por el área de Kinesiología Deportiva, las que han sido agrupadas como:

## Valoraciones primarias:

- Postural.
- FMS.
- Side Hope Test.

## Valoraciones secundarias:

- Core.
- Valoraciones específicas según perfil de riesgo deporte/atleta.

## Valoración Postural

La valoración postural es un método ampliamente utilizado dentro de la valoración clínica, resultando útil para la pesquisa de alteraciones en la

alineación corporal[18]. Las asimetrías o alteraciones estáticas pueden estar correlacionados con patrones de movimientos alterados, los que en conjunto pueden generar limitaciones funcionales, siendo potenciales factores de riesgo de lesiones y/o condicionantes del rendimiento deportivo. Dentro de la valoración postural, debe ser incluida la valoración tanto estática como del patrón de movimiento escapular para descartar la presencia de disquinesia escapular la cual se ha correlacionado con un aumento en el riesgo de presentar dolor de hombro en atletas asintomáticos producto de lesiones asociadas a tejidos blandos[19].

*Métodos de valoración*

Observación visual de la postura estática y de la movilidad escapular.

*Introducción de la prueba*

Dentro de las herramientas para realizar la valoración postural, la observación visual es la más empleada ya que no requiere de implementación, pero dentro de los aspectos negativos es su baja confiabilidad. Actualmente, se sugiere el uso de la fotogrametría digital (ver **Figura 10**), la cual consiste en un registro fotográfico en dos planos (de frente y de lateral) de la postura estática. Las imágenes son traspasadas a un sistema computacional y mediante un software pueden ser analizadas determinando ángulos de movimiento y asimetrías de los distintos segmentos corporales[18]. La valoración de la movilidad de la cintura escapular se realiza mediante el "*Scapular Dyskinesis Test*" (SDT) (ver **Figura 11**), donde se solicita realizar de manera activa tres repeticiones de separación de hombros con ambos miembros superiores simultáneamente[20]. La prueba se valora sólo en el movimiento de separación de hombros ya que clínicamente es el movimiento que provoca más disfunción escapular y se considera más funcional en el deporte[21].

*Periodicidad del monitoreo*

Se sugiere realizar dos valoraciones anuales. La primera previo al periodo básico y la segunda valoración deberá ser coordinada con el entrenador según el mesociclo de cada atleta, dado que la sobrecarga y la fatiga muscular son factores que pueden incidir en el rendimiento deportivo.

*Protocolo de valoración*

**Requisitos o condiciones óptimas previas:** para realizar la valoración se solicita estar de pie (descalzo), en el caso de los hombres con torso desnudo y en mujeres con peto. Deben quedar descubiertos los segmentos a valorar.

**Contraindicaciones y precauciones:** para la valoración de movilidad escapular, si el atleta es post operado del complejo del hombro en etapa aguda, requiere indicación médica para ser monitoreado. Para todas las valoraciones, en el caso de menores de edad este debe estar acompañado por un adulto autorizado para poder proceder.

**Indicaciones:** para la valoración postural se debe solicitar al atleta mantener la posición anatómica, registrar dos fotos (plano frontal y sagital), la cámara debe situarse a la misma distancia en ambos registros.

**Calentamiento:** no requiere.

**Preparación:** no requiere.

**Ejecución:** para el SDT, el atleta debe situar sus brazos a los costados de su tórax con los miembros superiores en posición neutra. Se debe solicitar que realice lentamente (en 4 segundos) tres repeticiones de la máxima separación de hombros y que regrese de igual forma siempre con los pulgares hacia arriba. El evaluador debe situarse por posterior al atleta entre 2 a 3 metros de distancia. Si el movimiento no se completa o es muy rápido, el intento debe ser repetido.

*Materiales*

Cámara digital, computador, software para análisis.

*Tablas de valoración*

Hoy en día no existen valores de referencia para esta valoración.

## Valoraciones en Atletas Paralímpicos

A continuación, se muestran ejemplos de valoraciones primarias y secundarias sugeridas en algunos deportes/disciplinas paralímpicas (**Tabla 15**) :

**Tabla 15**. Valoraciones primarias y secundarias en el deporte paralímpico.

| Deporte | Valoración Primaria | Valoración Secundaria |
|---|---|---|
| **Para Powerlifting** | Valoración postural | Dinamometría manual |
| | Rango de movimiento de hombros | ---- |
| **Natación Paralímpica** | Valoración postural | Core |
| | Rango de movimiento de hombros | ---- |
| **Atletismo Paralímpico** | Valoración postural | Core |
| | Equilibrio estático para atletas de velocidad | Rango de movimiento de miembros inferiores (FMS DS – ALR) para atletas de velocidad |
| | Rango de movimiento de hombros para atletas de lanzamiento | ---- |
| **Tenis de Mesa** | Valoración postural | Dinamometría manual |
| | Rango de movimiento de hombros | ---- |

| | | |
|---|---|---|
| **Tenis en Silla** | Valoración postural | Dinamometría manual |
| | Rango de movimiento de hombros | ---- |
| **Para Canotaje** | Valoración postural | Dinamometría manual |
| | Rango de movimiento de hombros | ---- |

## Valoración Postural

La valoración postural de la movilidad de cintura escapular se realiza mediante el "*Scapular Dyskinesis Test*" (SDT), la cual ya fue descrita anteriormente. En la **Figura 10** se puede observa la fotografía digital asociada a la valoración postural en un atleta paralímpica.

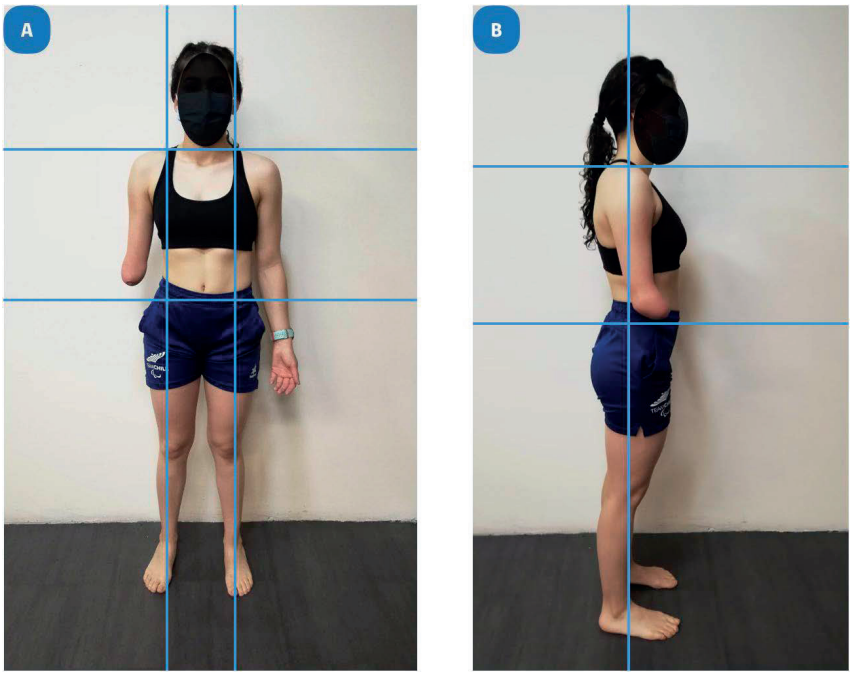



**Figura 10**. Fotogrametría digital en atleta paralímpica.

**La Figura 11** muestra el "*Scapular Dyskinesis Test*" (SDT) en atleta paralímpica, donde se solicita realizar de manera activa las tres repeticiones de separación de hombros con ambos miembros superiores simultáneamente.

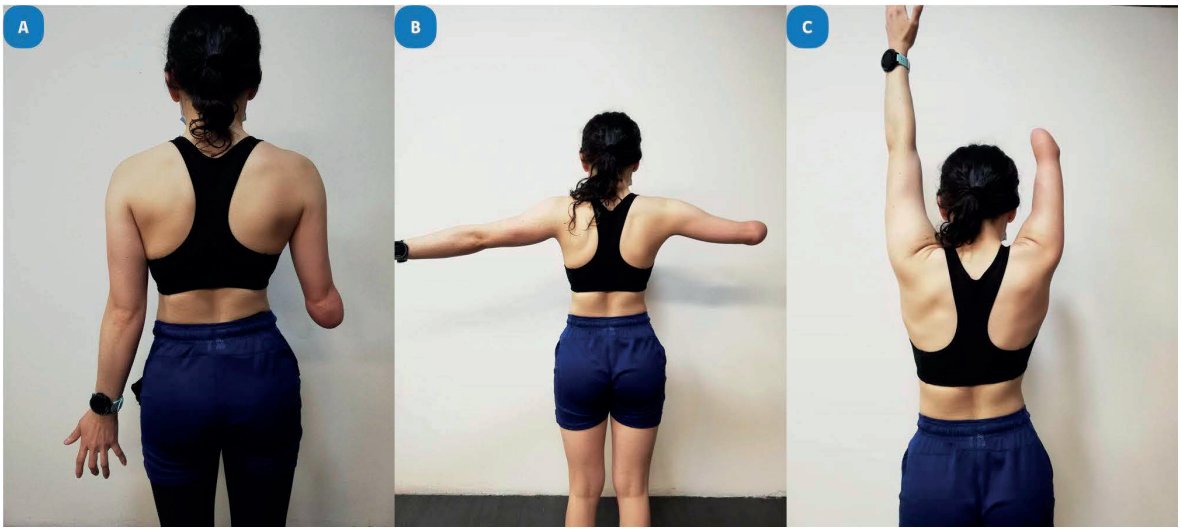



**Figura 11**. "*Scapular Dyskinesis Test*" (SDT) en atleta paralímpica.

En el caso de los atletas paralímpicos con limitación de rango articular de miembros superiores se puede aplicar el "*Lateral Scapular Slide Test*" (LSST)[22].

*Periodicidad del monitoreo*

Detallado en apartado anterior.

*Protocolo de valoración*

El "*Scapular Dyskinesis Test*" (SDT) fue detallado en apartado anterior. En el caso del LSST se debe marcar el ángulo inferior de ambas escápulas y el proceso espinoso de la vértebra que se encuentre alineada horizontalmente. Luego, se debe medir la distancia entre las marcas en las siguientes tres posiciones: (i) brazos neutros, (ii) brazos a la cintura, y (iii) separación de 90º y rotación interna de hombros con codos extendidos.

*Se sugiere disponer de un consentimiento informado para la obtención del registro digital además de resguardar la privacidad de los datos.

*Materiales*

Cámara digital, computador, software para análisis, cinta métrica, plumón o lápiz.

*Tablas de valoración*

Hoy en día no existen valores de referencia para esta valoración.

## Rango de Movimiento de Hombros

El complejo del hombro para los atletas usuarios de silla de ruedas es el segmento que está más expuesto a lesiones. Aunque se describe que la etiología es multifactorial, existe cierto grado de consenso que el sobreuso y los desbalances musculares son dos de los factores de mayor incidencia en la patologías de hombro[23]. Por otra parte, el desarrollo de las actividades de la vida diaria (AVD), en especial el desplazamiento en silla de ruedas, genera grandes fuerzas de cizalla para los estabilizadores dinámicos y pasivos del hombro, desbalance en el ROM de los rotadores de hombro, entre otras alteraciones[24]. Dicho esto, se justifica que la valoración del rango de movimiento de hombro, en conjunto con la movilidad escapular, sean primordiales para determinar la estabilidad y valorar la mecánica del complejo del hombro frente a las cargas externas del entrenamiento. Sumado a esto a que parte importante de población objetivo son atletas usuarios de silla de ruedas.

*Métodos de valoración*

Valoración cuantitativa mediante "*Shoulder Mobility Test*".

*Introducción de la prueba*

La prueba "*Shoulder Mobility Test*" (SMT) (**Figura 12**), descrita dentro de la batería de valoración del FMS, permite cuantificar el ROM de rotadores mediales/ laterales y separadores/ aductores de hombro. Es un test de bajo costo, accesible y clínicamente permite valorar la movilidad de hombro, escápulas y columna torácica, entregando información acerca de la calidad del movimiento y a la vez de asimetrías entre hemicuerpos[25,26].

**Figura 12**. Representación del "*Shoulder Mobility Test*" (SMT).

*Periodicidad del registro*

Se sugiere realizar dos valoraciones anuales. La primera previo al periodo básico y la segunda valoración deberá ser coordinada con el entrenador según el macro-meso o micro ciclo de cada atleta, dado que la sobrecarga y la fatiga muscular son factores que pueden incidir en el rendimiento deportivo. En el caso que un atleta obtenga una baja puntuación en el SMT y/o historial de lesiones de hombro se sugiere monitorear cada tres meses.

*Protocolo de valoración*

**Requisitos o condiciones óptimas previas:** para realizar la valoración se solicita estar de pie (descalzo). En el caso de los hombres se debe estar con torso desnudo y en las mujeres con peto. Deben quedar descubiertos los segmentos de cabeza, hombros y columna.

**Contraindicaciones y precauciones:** en atletas post operados del complejo del hombro en etapa aguda, se requiere indicación médica

para ser monitoreado. En el caso de menores de edad, este debe estar acompañado por un adulto autorizado para poder proceder con la valoración.

**Indicaciones:** registrar la longitud de la mano dominante, distancia entre el pliegue de la muñeca y el dedo medio, esta última será tomada como referencia a la hora de puntuar la separación entre los puños. El hombro a valorar es el que va con el puño por arriba. El evaluador debe ubicarse por posterior al atleta.

**Calentamiento:** no requiere.

**Preparación:** no requiere.

**Ejecución:** solicitar al atleta separar los hombros hasta 90º con los codos extendidos y las manos en puño incluyendo el pulgar; la cabeza debe permanecer en posición neutra. Desde esa posición inicial, se debe pedir que junte, con un movimiento lento, los puños por atrás de su tronco, un por arriba y el otro por debajo. Luego medir la distancia alcanzada entre ambos puños. Se debe solicitar realizar tres intentos por lado registrándose el mejor de ellos. Un mayor puntaje refleja un mejor desempeño.

*Materiales*

Batería del test FMS o bastón milimetrado.

*Tablas de valoración*

Medidas arbitrarias (**Tabla 16**).

**Tabla 16**. Valoración "*Shoulder Mobility Test*" (SMT).

| Puntaje | Distancia entre puños |
|---|---|
| 0 puntos | Dolor de hombro al realizar la prueba |
| 1 punto | Puños a más de 1.5 medida |
| 2 puntos | Puños entre 1 y 1.5 medida |
| 3 puntos | Puños a menos de 1 medida |

# Equilibrio Postural o Estático

El equilibrio postural o estático, definido como la capacidad de mantener la proyección vertical del centro de masa dentro de la base de sustentación[27], es un componente básico para el desarrollo de las distintas actividades motoras de la vida diaria, involucrando la integración de distintos sistemas de feedback somatosensorial, visual y vestibular[28]. En el deporte, el equilibrio estático es una cualidad fundamental para el desarrollo de patrones de movimiento y con ello la adquisición de gestos deportivos. En la población de para-atletas, la prevalencia de lesiones es mayor entre los atletas con discapacidad visual, siendo una de las potenciales causas el déficit de estabilidad postural limitada por el input visual[29]. En base a esto, surge la necesidad de valorar el equilibrio postural en para-atletas con discapacidad visual.

*Métodos de valoración*

Valoración cuantitativa mediante "*Balance Error Scoring System*" (BESS).

*Introducción de la prueba*

El "*Balance Error Scoring System*" (BESS) es un test que permite valorar el equilibrio estático[28] realizando variaciones en la base de sustentación (**Figura 13A**) y de la superficie de apoyo (**Figura 13B**). Ha demostrado buena confiabilidad[28], es de bajo costo y de fácil implementación.

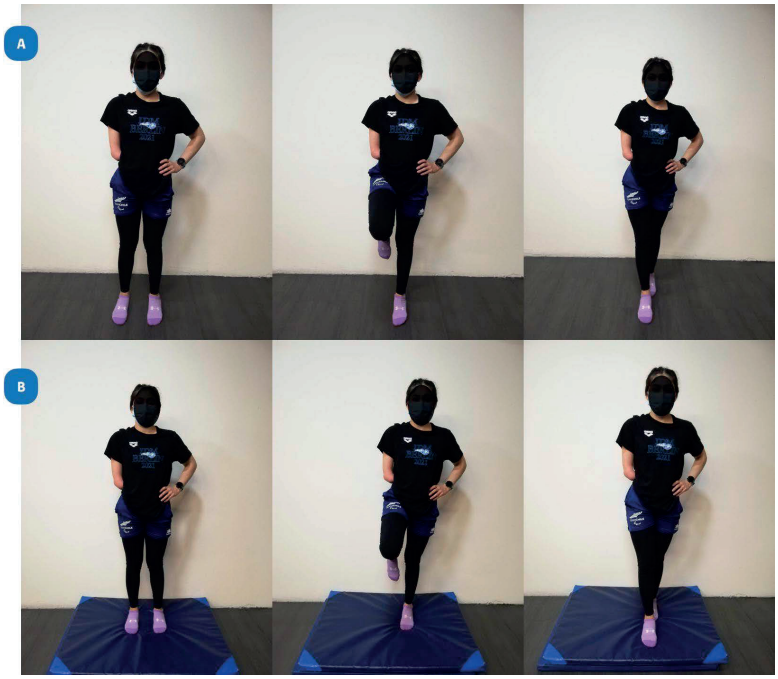



**Figura 13**. Representación del "*Balance Error Scoring System*" (BESS). A) Con modificación en base de sustentación; B) con modificación en superficie de apoyo.

*Periodicidad del monitoreo*

Se sugiere realizar dos valoraciones anuales. La primera, previo al periodo básico y la segunda valoración deberá ser coordinada con el entrenador según el macrociclo, meso ciclo o microciclo de cada atleta, dado que la sobrecarga y la fatiga muscular son factores que pueden incidir en el rendimiento deportivo. En el caso que un atleta obtenga una baja puntuación en el BESS y/o historial de lesiones de miembros inferiores, se sugiere monitorear cada tres meses hasta homogenizar los resultados con la extremidad opuesta.

*Protocolo de valoración*

**Requisitos o condiciones óptimas previas:** el atleta debe ser capaz de mantener la posición de pie de manera autónoma.

**Contraindicaciones y precaucion**es: en atletas post operados de miembros inferiores o en etapa aguda post lesión, se requiere indicación

médica para ser monitoreado. En el caso de menores de edad, este debe estar acompañado por un adulto autorizado para poder proceder la valoración.

**Indicaciones:** valorar el equilibrio estático con ojos cerrados en posición de pie descalzo y sin vendajes de tobillo/pie.

**Calentamiento:** no requiere.

**Preparación:** no requiere.

**Ejecución:** en posición de pie con las manos en la cintura, se debe solicitar al atleta mantener la posición durante 20 segundos con los ojos cerrados. Se debe consignar el desempeño logrado en tres posiciones: (i) apoyo con dos pies, (ii) apoyo con un pie, y (iii) posición tándem. Luego, se debe repetir las pruebas sobre una superficie inestable. Se permiten tres intentos por posición, si se comete dos errores en simultáneo se contabilizará como un único error. La mayor cantidad de puntaje refleja un peor rendimiento. En población adulta existen valores normativos por género y rango etario[30].

*Materiales*

Cronómetro, superficie inestable.

*Tablas de valoración*

No existen valores de referencia en atletas.

## Dinamometría Manual

El desplazamiento para las personas usuarios de silla de ruedas representa una sobrecarga para los distintos segmentos de la miembros superiores, si esto se suma a la carga de entrenamiento diaria a la que es sometido cada atleta, ambos factores se convierten en potencial riesgo de lesión de los miembros superiores. Existe diversos factores que

afectan en la mecánica del desplazamiento en silla de ruedas, dentro de estas la fuerza de prensión manual es un componente fundamental, principalmente durante la fase de propulsión[31]. Existe escasa literatura que valora la fuerza de prensión en atletas usuarios de silla de ruedas, pero la evidencia a demostrado que existen cambios en la características de la fibra muscular de miembros superiores y su vascularización producto de adaptaciones fisiológicas específicas al deporte[32]. Por estos motivos es necesario valorar la fuerza de prensión manual en usuarios de sillas de ruedas.

*Métodos de valoración*

Valoración cuantitativa mediante uso "dinamómetro manual".

*Introducción de la prueba*

La dinamometría es una prueba que ha demostrado ser costo-efectiva, confiable y de fácil aplicación para la valorar la fuerza de prensión manual[33] (**Figura 14**).

**Figura 14**. Representación del la valoración de dinamometría manual.

*Periodicidad del monitoreo*

Se sugiere realizar al menos dos valoraciones anuales. La primera, previo al periodo básico y la segunda valoración deberá ser coordinada con el entrenador según el macro-meso o micro ciclo de cada atleta, dado que la sobrecarga y la fatiga muscular son factores que pueden incidir en el rendimiento deportivo.

*Protocolo de valoración*

**Requisitos o condiciones óptimas previas:** dinamómetro manual.

**Contraindicaciones y precauciones:** atletas post operados de muñeca-mano, en etapa sub-aguda, requieren indicación médica para ser monitoreado. En el caso de menores de edad, este debe estar acompañado por un adulto autorizado para poder proceder la valoración.

**Indicaciones:** valorar la fuerza de prensión manual en cada extremidad, sin uso de vendajes ni órtesis.

**Calentamiento:** no requiere.

**Preparación:** no requiere.

**Ejecución:** atleta ubicado en la silla de ruedas, hombro en posición de rotación neutra con el codo flexionado en 90º junto al tórax. La muñeca se debe posicionar en 30º de extensión y 10º de desviación ulnar. Se solicita al atleta que realice la máxima fuerza de prensión manual que pueda lograr manteniendo por tres segundos. Se deben valorar tres intentos con cada extremidad, con treinta segundos de pausa entre repeticiones. Para el registro se utiliza el promedio de los tres intentos[32].

*Materiales*

Dinamómetro manual, cronómetro.

*Tablas de valoración*

No existen valores de referencia en atletas.

## Valoración del Core

Se entiende por valoración del core, la valoración de la estabilidad de la zona media (zona lumbo pélvica)[34] y por estabilidad, "la capacidad de las estructuras osteoarticulares y musculares, coordinadas por el sistema de control motor, para mantener o retomar una posición o trayectoria del tronco (y la pelvis) ante perturbaciones"[35]. Por eso, es importante tomar en consideración la resistencia y fuerza de la musculatura involucrada, el balance muscular y las coordinaciones intra-intermusculares[36,37]. El déficit de la estabilidad del core es un factor que puede contribuir al dolor de zona lumbar y a lesiones deportivas[36,38], no solamente a nivel de la zona lumbar sino también en otras zonas del cuerpo como la rodilla[39]. Además, puede perjudicar el rendimiento deportivo[40]. Es por eso la importancia de valorar el core y poder actuar con el fin de rehabilitar[41], prevenir lesiones[36,38] y/o optimizar el rendimiento deportivo[42].

*Métodos de valoración del core*

Se puede subdividir en 2 grupos: los métodos de laboratorio y los métodos de campo. Los métodos biomecánicos de laboratorio, como la aplicación controlada de cargas o descargas súbitas, el paradigma del asiento inestable y la modelación matemática, han permitido analizar el efecto de numerosos factores sobre la estabilidad del raquis. Por otro lado, las pruebas de campo utilizadas habitualmente para valorar la estabilidad del core (prueba de condición muscular, prueba de equilibrio corporal en apoyo monopodal, prueba de control postural del raquis lumbar y la pelvis, entre otras) presentan limitaciones importantes, principalmente debido a la falta de estudios sobre la validez de estas medidas[35].

## Resistencia muscular del core36: para todos los deportes

*Introducción de la prueba*

Se realizan 3 valoraciones: resistencia flexores frontales, laterales y extensores. Se ha observado que una relación alterada entre flexores y extensores es un factor que puede predecir dolor lumbar[36]; también lo es un desbalance entre flexores laterales[43] y un valor de resistencia de los extensores menor a 176 s[38]. El índice de fiabilidad intra e inter evaluadores de la prueba para atletas es: flexores: 0.95-0.96; plancha lateral izquierda: 0.85-0.87; plancha lateral derecha: 0.82-0.89[43]. Esta prueba es de fácil aplicación tomando el tiempo de resistencia muscular en segundos, con bueno índice de fiabilidad y con valores normativos que serán nuestro objetivo en el fin de prevenir lesiones (sobre todo el dolor lumbar).

*Periodicidad del monitoreo*

Se recomienda realizar la valoración del core al menos una vez al año. En el caso de que el atleta presente un resultado deficitario se debe volver a monitorear en 6 semanas, después de haber realizado un programa de corrección especifico[44]. En caso que el atleta tenga un buen resultado, pero sufre durante el año una lesión o dolor de la zona media, se debe volver a monitorear el core una vez que este sin dolor y rehabilitado[36].

*Protocolo de valoración*

**Requisitos óptimos previas:** 5 minutos de descanso entre cada prueba[45]. No se describe otras medidas, pero se puede agregar la necesidad que el individuo no se encuentre cansado físicamente al nivel de la musculatura del core al momento de la valoración. Por lo tanto, no debe haber realizado ejercicios intensos del core ese mismo día y no debe tener DOMS de la musculatura de la zona media ya que afectaría su rendimiento.

**Contraindicaciones y precauciones:** la prueba no debe ser realizada si la persona presenta dolor de la zona media[45].

**Calentamiento:** no se describe un calentamiento previo.
**Preparación:** no se describe una preparación especial.

**Indicaciones:** se debe mantener la posición indicada la mayor duración posible. Se detiene la prueba a la tercera intervención del evaluador para que la persona vuelva a la posición inicial[45]. Desde una perspectiva lógica y personal, para validar el tiempo se recomienda preguntar sobre las sensaciones musculares y así asegurarse que la prueba se detiene por fatiga de los músculos que queremos valorar. Si no es el caso, no se contabiliza el tiempo.

**Ejecución (Figura 15):**

*Resistencia extensores* (*Sorensen modificado*) (**Figura 15A**): en posición prono, cresta iliaca llegando al borde de la mesa, con muslos, rodillas y tobillos afirmados, brazos cruzados apoyando la mano en el hombro opuesto, mantener la espalda al horizontal.

*Resistencia flexores laterales* (*puente lateral*) (**Figura 15C-D**): de lado, con el antebrazo apoyado en posición neutra, el codo directamente debajo del hombro, la otra mano en el hombro opuesto, pie de arriba hacia delante y pie de abajo hacia atrás, formar una línea pasando por esternón- pubis y centro tobillos.

*Resistencia Flexores frontales* (**Figura 15B**): sentado con los pies afirmados, con rodillas y caderas a 90 grados de flexión, los brazos cruzados de modo de poner la mano en el hombro opuesto y la espalda formando un ángulo de 60 grados con el piso.

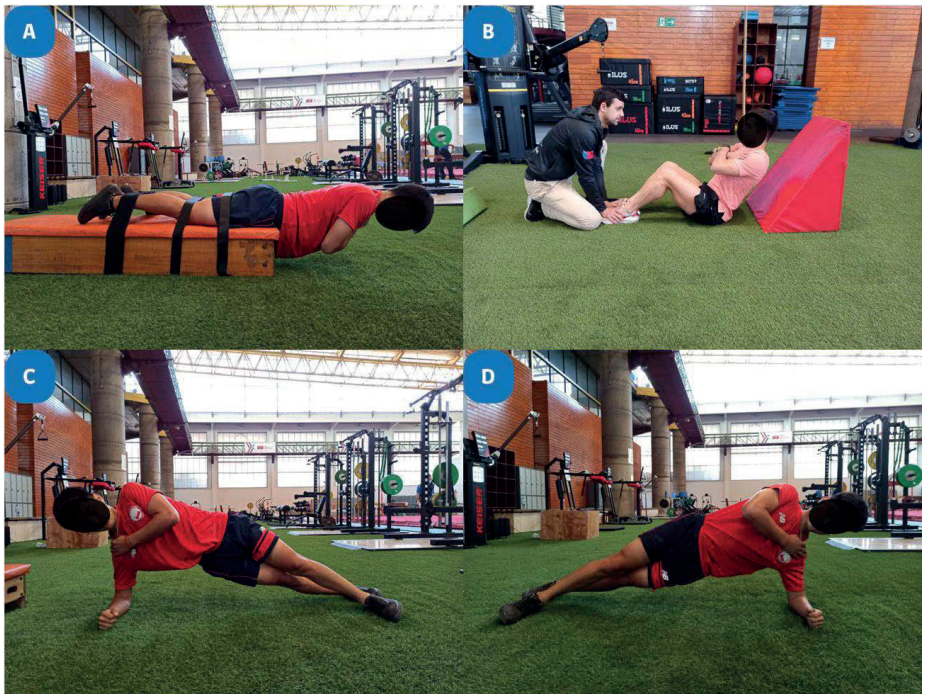



**Figura 15**. Representación de valoración del core.

*Materiales*

Para Sorensen modificado: una mesa y 3 cinturones de fijaciones. Para la valoración de los flexores: un goniómetro.

*Tablas de valoración*

**Tabla 17**. Valores de referencia para las pruebas de valoración del core[36].

| Prueba | Mujeres | Hombres |
|---|---|---|
| **Extensores** | 167 s | 157 s |
| **Laterales** | 91 s | 125 s |
| **Flexores** | 222 s | 224 s |
| **Relación flexores/extensores** | 1.33 | 1.42 |
| **Relación plancha lateral izquierda/ derecha** | Simetría igual o menor a 5% | |

### *Kendall Double Leg Lowering Test[46]: para todos los deportes de fuerza/ potencia que involucren las extremidades inferiores*

*Introducción de la prueba*

Esta prueba tiene una correlación con la prueba de performance atlética de lanzamiento de balón medicinal[40], y ha mostrado valores de 0.98 de fiabilidad intra evaluador[46].

*Periodicidad del monitoreo*

Se recomienda realizar la valoración del core al menos una vez al año. En el caso de que el atleta presente un resultado deficitario se debe volver a monitorear en 6 semanas, después de haber realizado un programa de corrección especifico[44]. En caso que el atleta tenga un buen resultado, pero sufre durante el año una lesión o dolor de la zona media, se debe volver a monitorear el core una vez que este sin dolor y rehabilitado[36].

*Protocolo de valoración*

**Requisitos óptimos previas:** no haber comido por lo menos una hora antes de la prueba[46]. No se describe otras medidas, pero se puede agregar la necesidad que el individuo no este cansado físicamente al nivel de la musculatura del core. Por lo tanto, no debe haber realizado ejercicios intensos del core ese mismo día y no debe tener DOMS de la musculatura de la zona media ya que afectaría su rendimiento.

**Contraindicaciones y precauciones:** embarazo actual conocido, operaciones antiguas de columna, dolor lumbar actual o cualquier anomalía de cadera autoinformada que limite el rango de movimiento de cadera[46].

**Indicaciones:** el atleta debe bajar las extremidades inferiores lo más abajo posible, en un tiempo menor a 10 s, sin cambiar la curvatura anatómica de la columna lumbar. Tiene dos intentos con un minuto de descanso entre medio. El resultado final será el promedio de esos.

**Calentamiento:** no se describe calentamiento previo

**Preparación:** el atleta debe quitarse los zapatos y estar vestido de short. Debe ejecutar una vez el movimiento para asegurarse que entendió correctamente las indicaciones.

**Ejecución (Figura 16):** en supino, con las caderas flexionadas a 90º y con las rodillas más extendidas posible (tomando en consideración el nivel de elongación de los isquiotibiales del atleta), con un medidor de presión colocado a nivel de L2-L4 inflado a 40 mmHg y con las manos cruzadas sobre el pecho, el sujeto va a bajar las extremidades inferiores los más bajo posible. Se valora el ángulo de cadera (tomando en cuenta la diáfisis del fémur y la línea horizontal pasando por la cabeza femoral y el eje de rotación: la cabeza femoral) con goniómetro cuando la presión baja por debajo de 20 mmHg.

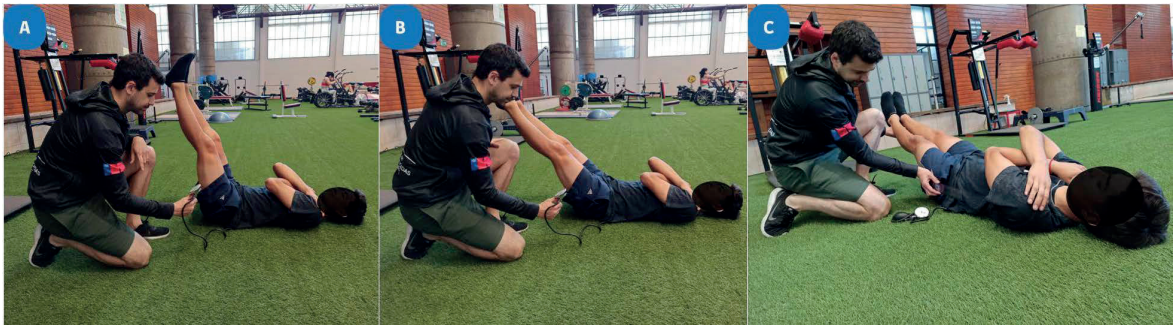



**Figura 16**. Representación del Kendall Double Leg Lowering Test.

*Materiales*

Un goniómetro y un biofeedback de presión.

*Tabla de valoración*

**Tabla 18**. Valores de referencia para el Kendall Double Leg Lowering Test.

| Mujeres | Hombres |
|---|---|
| 37.0º | 15.4º |

Por último, para todos los deportes de fuerza / potencia que involucran las extremidades superiores, se recomienda usar un Test FMS modificado: Test FMS de estabilidad de tronco. Para todos los deportes que requieren poseer estabilidad rotatoria de tronco, se recomienda usar un Test FMS modificado: Test FMS para estabilidad rotatoria de tronco. Para todos los deportes que se practican en bipedestación y que necesitan estabilidad pélvica, se recomienda usar una prueba de sentadilla unilateral[47].

### *Test de Sentadilla Unilateral*

*Introducción de la prueba*

Existe una relación entre el resultado negativo de la prueba de sentadilla unilateral y el riesgo de padecer una lesión en atletas[48].

*Periodicidad del monitoreo*

Se recomienda realizar la valoración al menos una vez al año. En el caso que el atleta tenga un resultado deficitario y después de haber realizado un programa de corrección especifico, se debe volver a monitorear en 6 semanas[44]. En el caso que el atleta tenga un buen resultado, pero sufra durante el año una lesión o dolor de la extremidad inferior, se debe volver a monitorear una vez que este sin dolor y rehabilitado[36].

*Protocolo de valoración*

**Requisitos óptimos previas:** en general no se describen[47], pero se puede mencionar que la ejecución de la valoración no debe desencadenar dolor, que el atleta tenga capacidad para ejecutarla y la necesidad que el atleta no esté cansado físicamente a nivel de la musculatura de las extremidades inferiores o de la zona media al momento de realizar la valoración. Por eso es recomendable no debe haber realizado ejercicios intensos del core o extremidades inferiores ese mismo día y no tener DOMS de la musculatura involucrada ya que afectaría el desempeño en la valoración.

**Contraindicaciones y precauciones:** si la persona siente dolor al realizar la prueba, la valoración no se ejecuta[47].

**Indicaciones:** primero entregar las instrucciones verbales sobre la ejecución de la prueba y después realizar una demostración visual.

**Calentamiento:** no se describe calentamiento especial.

**Preparación:** el atleta debe realizar una única prueba de 6 repeticiones durante la cual el evaluador le entrega informaciones verbales para corregirlo en caso de que la ejecución sea incorrecta.

**Ejecución (Figura 17):** la posición inicial para la sentadilla unilateral es de pie sobre la extremidad de prueba con la cadera y la rodilla en posición neutra (posición anatómica). El tronco está erguido, sin rotación ni flexión lateral, y la extremidad contralateral se coloca con la cadera

en posición neutra y la rodilla en 90° de flexión. Las manos están apoyadas sobre la cresta iliaca. Los sujetos se mueven a un ritmo autoseleccionado hasta una posición de sentadilla y luego regresan a la posición inicial. Se debe observar si hay movimientos de los brazos, inclinación del tronco, pérdida de la horizontalidad de la pelvis, rotación de la pelvis, aducción del muslo de la extremidad apoyada, movimiento de la extremidad no apoyada y/o tambaleo de la extremidad apoyada. Se realizan 2 series de 6 repeticiones y se toma en consideración el mejor resultado de esas 2 series[47].

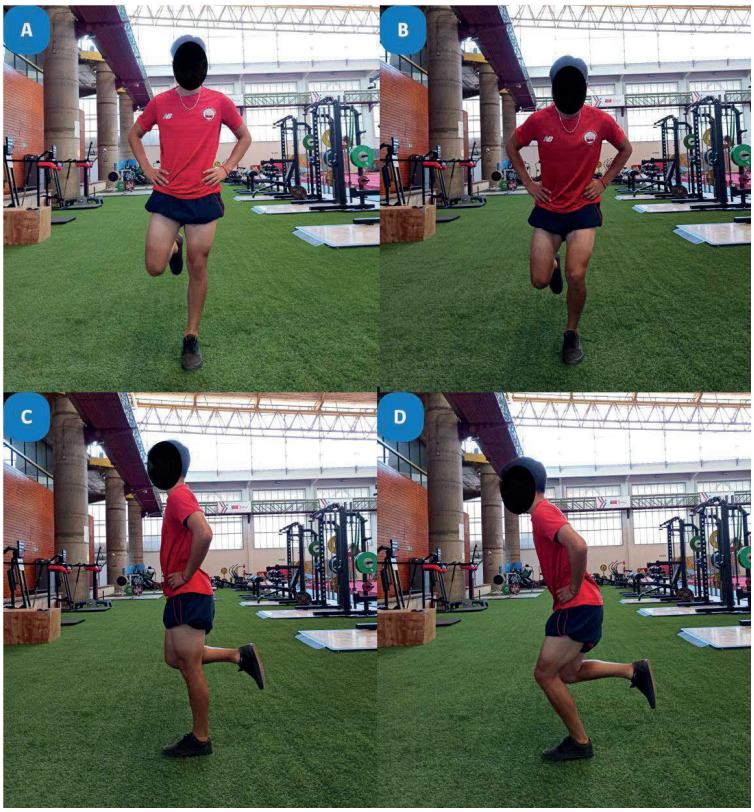



**Figura 17**. Representación de valoración de sentadilla unilateral.

*Materiales*

No se necesita material[47].

*Tabla de valoración*

**Tabla 19**. Criterios de valoración para la prueba de sentadilla unilateral[47].

| Valoración | Criterios |
|---|---|
| Excelente | No hay desviación, la alineación neutral está totalmente respetada. |
| Bien | Se observa un único movimiento de pequeña magnitud que desalinea la posición neutra del cuerpo y/o existen movimientos oscilatorios de baja frecuencia. |
| Moderado | Existe movimiento moderado o notorio fuera de la posición neutra y/o movimientos oscilatorios de frecuencia mediana. |
| Débil | Se observan movimientos de magnitud severa fuera de la posición neutra y/o se observan movimientos oscilatorios de alta frecuencia. |

## Valoración FMS (Functional Movement Screen)

El test de valoración funcional del movimiento (FMS) se utiliza como una herramienta practica que permite valorar patrones de movimiento básicos. La aplicación y valoración de estas pruebas nos aportan una visión del estado del atleta, y se sugiere realizar al inicio de un periodo básico y volver a monitorear durante el periodo competitivo. Esta batería de pruebas funcionales permite detectar disfunciones del movimiento a través de un examen de exploración funcional (cualitativo y cuantitativo). En cada prueba se observan movimientos y posiciones que llevan al atleta a mostrar sus desequilibrios, compensaciones musculares, debilidades musculares, y al mismo tiempo permite valorar si esos patrones alterados son de manera bilateral o unilateral. Esta información nos permite analizar y posteriormente realizar una planificación para abordar de forma estratégica y más eficiente cada problema a corregir, ya sea de fuerza, flexibilidad, estabilidad, equilibrio y/o déficit musculares[25,26,49-51]. El enfoque adoptado para calificar la FMS, donde todos las pruebas poseen la misma ponderación y los resultados individuales simplemente se suman, sigue siendo controversial. Por ejemplo, en algunos deportes el 76% de las lesiones ocurren en extremidades inferiores. En tales casos, sería razonable que la movilidad del hombro no tuviera la misma valoración que la parte inferior. Es por esto que sería mejor analizar cada prueba de forma individual en relación al deporte y sus características. Por ejemplo, deportes que concentran mayor porcentaje de lesión en extremidades inferiores podrían poner mayor énfasis en 3 pruebas: sentadilla

profunda, estocada en línea y paso de obstáculo[51,52]. Se sugiere, una vez realizado el FMS, complementar con otras pruebas funcionales para tener una mejor valoración de las observaciones encontradas[52].

*Materiales*

Kits de FMS.

*Periodicidad de monitoreo*

Al inicio de un periodo básico y volver a monitorear durante el periodo competitivo.

*Protocolo de valoración*

*Sentadilla profunda*

**Objetivo:** la sentadilla es un movimiento necesario y utilizado en la mayoría de los deportes. Es la posición de preparación y se requiere para la mayoría de los movimientos de fuerza que involucran las extremidades inferiores. La sentadilla profunda es una prueba que desafía la mecánica corporal total cuando se realiza correctamente. Se utiliza para evaluar la movilidad funcional bilateral, la simetría de caderas, rodillas y tobillos. El bastón es sostenido por encima de la cabeza, evaluando la movilidad bilateral y simétrica de los hombros y de la columna torácica.

**Descripción:** el atleta, para tomar la posición inicial, debe estar de pie con sus pies separados aproximadamente a la altura de los hombros y alineados en el plano sagital (aunque esto podría ser algo diferente, acorde a las características individuales de cada atleta). Luego, debe tomar el bastón, llevarlo hacia su cabeza apoyándolo suavemente. Al mismo tiempo y para ajustar la posición, sus brazos (articulación de codo) deben formar un ángulo de 90°. Luego se le pide que extienda los brazos, manteniendo el bastón sobre la cabeza, y que comience a descender lentamente hacia una posición de sentadilla lo más profunda posible, manteniendo los talones sobre el suelo y la cabeza en posición

neutral (**Figura 18A**). Si se observa que no logra todos los criterios de valoración, se le pide que realice la prueba con los talones sobre una tabla de 2x6 cm (tabla de kit de FMS) (**Figura 18B**). Se observa, y se realiza la valoración de la prueba según corresponda, anotando la o las alteraciones encontradas[25,26,49,50].

**Figura 18**. Representación sentadilla profunda en prueba FMS.

*Paso de obstáculo*

**Objetivo:** el paso de obstáculo está diseñado para desafiar la mecánica de zancada adecuada del cuerpo durante un movimiento del paso. El movimiento requiere una coordinación y estabilidad adecuadas entre las caderas y la columna durante la zancada, así como estabilidad unipodal. El paso sobre la valla valora la movilidad bilateral y la estabilidad de caderas, rodillas y tobillos.

**Descripción:** el atleta toma la posición inicial colocando primero los pies juntos y alineando los dedos tocando la base de la valla. Luego, el obstáculo se ajusta a la altura de la tuberosidad anterior de la tibia. El bastón se coloca a través de los hombros por debajo del cuello (**Figura 19**). A continuación, se le pide al atleta que pase una extremidad por encima del obstáculo y toque el suelo con el talón mientras mantiene la pierna de apoyo en una posición extendida. Luego, la pierna en

movimiento vuelve a la posición inicial. El paso del obstáculo debe realizarse lentamente y hasta tres veces de forma bilateral. Se observa y se realiza la valoración de la prueba según corresponda, anotando la o las alteraciones encontradas. Se valora tanto la extremidad que pasa la valla, como la de apoyo[25,26,49,50].

**Figura 19**. Representación de la prueba paso de obstáculo en prueba FMS.

*Estocada en línea*

**Objetivo.** la estocada en línea intenta colocar el cuerpo en una posición que simula la postura en movimientos de rotación, desaceleración y de inestabilidad. La estocada en línea es una prueba que coloca las extremidades inferiores en una posición de tijera desafiando el tronco y las extremidades para resistir la rotación y mantener una alineación adecuada. Esta prueba valora la movilidad y estabilidad de la cadera, rodilla y el tobillo.

**Descripción.** el evaluador debe medir la longitud desde el suelo hasta la tuberosidad anterior de la tibia. Luego se le pide al atleta que coloque el pie detrás de la línea de inicio y el talón del pie opuesto en la distancia medida. El bastón se coloca detrás de la espalda tocando la cabeza, la columna torácica y el sacro. La mano opuesta al pie delantero debe ser la mano que agarra el bastón en la columna cervical. La otra mano agarra el bastón en la columna lumbar-sacra. Luego baja la rodilla trasera lo suficiente para tocar la superficie detrás del talón del pie delantero y

luego regresa a la posición inicial. La estocada se realiza hasta tres veces bilateralmente de forma lenta y controlada (**Figura 20**). Se observa y se realiza la valoración de la prueba según corresponda, anotando la o las alteraciones encontradas[25,26,49,50].

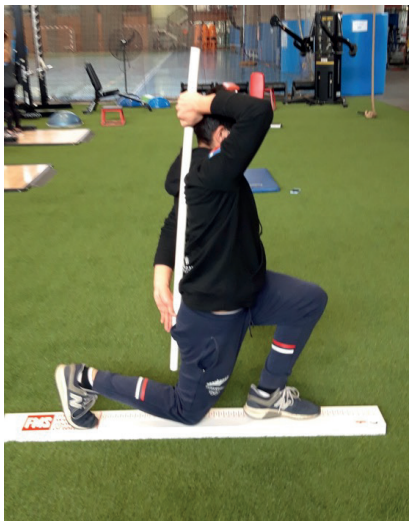


**Figura 20**. Representación de la prueba estocada en línea en prueba FMS.

*Movilidad del hombro*

**Objetivo:** valorar la movilidad de hombro bilateral, combinando rotación interna con aducción de un hombro y rotación externa con abducción del otro. La prueba también requiere movilidad escapular normal y extensión de la columna torácica.

**Descripción:** se determina primero la longitud de la mano midiendo la distancia desde el pliegue distal de la muñeca hasta la punta del tercer dedo. Luego se le indica al atleta que haga un puño con cada mano, colocando el pulgar dentro del puño. Posteriormente, se le pide que tome una posición de máxima aducción, extensión y rotación interna con un hombro y una posición de máxima abducción, flexión y rotación externa con el otro (**Figura 21**). Durante la prueba, las manos deben permanecer en un puño y los puños deben colocarse en la espalda con un

movimiento suave. Luego, se mide la distancia entre las prominencias óseas más cercanas. Realice la prueba hasta tres veces de forma bilateral. El hombro a valorar es el que va a flexión. Se dan 3 puntos a la prueba si la distancia entre los puños es menor a la distancia marcada desde el pliegue de la muñeca hasta la punta del dedo. Si esta distancia pasa a ser mayor este puntaje disminuye a 2, finalmente si esta distancia es mayor a uno y medio del primer valor obtenido se asigna 1 punto, y 0 si hay presencia de dolor.

**Figura 21**. Representación de la prueba de movilidad de hombro en prueba FMS.

**Prueba para valorar la prueba:** se debe realizar una prueba al final de la movilidad del hombro. Este movimiento no se puntúa; más bien se realiza para observar una respuesta de dolor. Si se produce dolor, se da una puntuación de cero a toda la prueba de movilidad del hombro. La prueba de valoración es necesaria porque el pinzamiento del hombro puede pasar desapercibido solo con la prueba de movilidad. El individuo coloca su mano sobre el hombro opuesto y luego intenta apuntar el codo hacia arriba. Si hay dolor asociado con este movimiento, se registra un (+) positivo en la hoja de valoración y se da una puntuación de cero en la prueba. Se recomienda realizar una valoración exhaustiva del complejo del hombro. Esta prueba debe realizarse de forma bilateral[25,26,49,50].

*Levantamiento activo de la pierna con rodilla extendida*

**Objetivo:** la elevación activa de la pierna recta prueba la capacidad de disociar la extremidad inferior del tronco mientras se mantiene la estabilidad de tronco y pelvis.

**Descripción:** el atleta toma primero la posición inicial acostado en decúbito supino con los brazos en posición anatómica, las piernas sobre la tabla de 2x6 y la cabeza apoyada en el suelo o colchoneta. A continuación, el evaluador identifica el punto medio entre la espina ilíaca anterosuperior y el punto medio de la patela de la pierna en el suelo, y se coloca el bastón en esta posición, perpendicular al suelo. A continuación, se indica al atleta que levante lentamente la pierna de prueba con una rodilla extendida y tobillo en posición neutra (**Figura 22**). Durante la prueba, la rodilla opuesta (la pierna de abajo) debe permanecer en contacto con el suelo, tobillo en posición neutra, y la cabeza en contacto con el suelo. Una vez que se alcanza la posición final del rango con la extremidad a valorar, se observa la posición del tobillo en relación con la extremidad que está en suelo o colchoneta. Si el maléolo no pasa el bastón, este debe ser ubicado para igualar con el maléolo de la pierna de prueba. Si la pierna elevada supera la línea media de muslo son 3 puntos, si el maléolo se encuentra entre la línea media de muslo y la patela son 2 puntos, si la pierna elevada no pasa la línea de la patela es 1 punto. Esta prueba debe realizarse tres veces por extremidad[25,26,49,50].

**Figura 22**. Representación de la prueba Levantamiento activo de la pierna con rodilla extendida en prueba FMS.

*Estabilidad anteroposterior del tronco*

**Objetivo:** la flexión de estabilidad del tronco prueba la capacidad de estabilizar la columna en un plano anterior y posterior durante un movimiento de cadena cerrada de las extremidades superiores. La prueba valora la estabilidad del tronco en el plano sagital mientras se realiza un movimiento de flexión simétrico de la extremidad superior.

**Descripción:** el atleta toma una posición de decúbito prono con los pies juntos. Las manos se colocan a la altura de los hombros en la posición adecuada según los criterios descritos. Durante esta prueba, los hombres y las mujeres tienen diferentes posiciones iniciales de los brazos. Los hombres comienzan con los pulgares en la parte superior de la frente, mientras que las mujeres comienzan con los pulgares a la altura del mentón (**Figura 23**). Las rodillas están completamente extendidas y los tobillos en dorsiflexión. Se le pide al atleta que realice una extensión de codo. El cuerpo debe levantarse en bloque; no debe producirse ningún "retraso" (o arco) en la columna lumbar al realizar el movimiento. Si el atleta no puede realizar el movimiento, los pulgares se mueven a la siguiente posición, al nivel del mentón para los hombres, al nivel de los hombros para las mujeres y se intenta nuevamente el movimiento. La flexión de estabilidad del tronco se puede realizar tres veces.

**Figura 23**. Representación de la prueba estabilidad anteroposterior del tronco en prueba FMS.

**Prueba para valorar la prueba:** se realiza una prueba al final de la estabilidad del tronco. Este movimiento no se puntúa; la prueba se realiza simplemente para observar una respuesta al dolor. Si se produce dolor, se registra (+) positivo en la hoja de valoración y se puntúa cero en la prueba. Esta prueba de valoración especifica es necesaria porque el dolor de espalda puede pasar desapercibido durante la detección de movimiento[25,26,49,50].

*Estabilidad rotatoria de tronco*

**Objetivo:** la prueba de estabilidad rotatoria es un movimiento complejo que requiere una coordinación neuromuscular adecuada y una transferencia de energía de un segmento del cuerpo a otro. La prueba de estabilidad rotatoria valora la estabilidad del tronco multiplanar durante una combinación movimientos de las extremidades superiores e inferiores.

**Descripción:** el atleta asume la posición inicial en cuadrúpedo, con los hombros y las caderas en ángulos de 90º con respecto a la columna, con la tabla de 2x6 entre las manos y las rodillas. Las rodillas se colocan a 90º y los tobillos deben estar en dorsiflexión. Luego, el atleta realiza una flexión de hombro y extiende el mismo lado de la cadera y la rodilla. Esto se realiza de forma bilateral con tres intentos en cada lado. Si el individuo no puede completar esta maniobra, se le indica que realice un patrón diagonal usando el hombro y la cadera opuestos de la misma manera que se describió para la prueba anterior (1-4) (**Figura 24**).

**Figura 24.** Representación de la prueba estabilidad rotatoria de tronco en prueba FMS.

# Side Hop Test

Las habilidades motoras son consideradas como componentes importantes del rendimiento físico y generalmente son aceptadas como indicadores de salud en atletas y sujetos jóvenes[53]. Las valoraciones desarrolladas son relevantes para **detectar cambios funcionales y también para detectar factores de riesgo de lesión**[54]. Además, permite valorar fuerza muscular, control neuromuscular, así como la capacidad de tolerar cargas relacionadas con actividades específicas[55]. En los miembros inferiores, los factores de riesgo musculoesqueléticos pueden estar relacionados con programas de entrenamiento inapropiados, recuperación incompleta, patrones de movimiento asimétricos, deterioros del sistema sensoriomotor, rehabilitación inadecuada post daño o lesión[56]. La planificación de un buen trabajo de rehabilitación finalmente logrará disminuir el riesgo de daño y lesión. Para facilitar esto, los métodos de valoración confiables y válidos pueden ser herramientas muy importantes a la hora de prevenir una lesión deportiva[57].

*Métodos de valoración del salto*

Muchas pruebas de salto son descritas en la literatura, incluyendo varios Hop Test para distancia, tiempo y altura[56,57]. Generalmente, desde un nivel de análisis, las pruebas son divididas por[57]:

Factor 1: Salto máximo (salto vertical, Hop para distancia, drop Jump seguido por doble salto en distancia).
Factor 2: Prueba de resistencia y estabilidad articular funcional (Square Hop y Side Test).

Ante lo anterior, hay varios ejemplos a señalar: Triple Hop, Vertical Hop, Square Hop, Side Hop[56,57]. La relación entre el puntaje logrado entre la extremidad involucrada y la no involucrada ha sido el criterio mayormente utilizado para determinar si existe un rendimiento normal o anormal en estas pruebas de salto. En las últimas décadas, se ha

planteado que una relación normal en sujetos sanos debiera ser mayor o igual al 85% o 90%[58]. Sin embargo, recientemente, la interpretación para este el valor máximo de asimetría (10 – 15%), también puede estar originado como un efecto normal propio de la actividad deportiva. Dentro de los estudios disponibles, muchas pruebas funcionales son relatadas, sin embargo, dentro de las pruebas de salto, no son muchas las pruebas que se repiten y que analizan sujetos en condiciones normales y con deficiencias como es el caso del ligamento cruzado anterior[55]. Generalmente, las pruebas más utilizadas y con alta confiabilidad son: (i) Salto en Figura 8, (ii) Salto Unipodal, (iii) Salto en Altura y (iv) Side Hop Test, entre otros[57,59]. En ese sentido, el Side Hop Test muestra una alta especificidad y alta precisión[57], siendo una prueba válida y confiable para valorar fuerza y resistencia bajo condiciones de fatiga a través de saltos laterales controlados y repetitivos[56]. Además, es muy usado para valorar la función de EEII en sujetos sanos y lesionados o postquirúrgicos La aplicación de este tipo de pruebas permite un control permanente sobre la extremidad, de forma rápida, oportuna y de fácil valoración para mejorar la fuerza, el control motor/neuromuscular y la estabilidad articular[60]. Se debe tener en cuenta la posición del tronco en relación con el miembro inferior y en su relación cadera / rodilla / tobillo, visualizando valgos que acompañen un movimiento erróneo[60]. En el campo más clínico, este tipo de pruebas permite un "return to play" mucho más seguro y confiable[57,58]. La única sugerencia diferenciada por la distancia en la prueba es el uso de 30 cm o 40 cm, siendo la primera usada en menores[61,62], sin embargo, esto aumenta la sensibilidad de 47 a 77%[59].

**Introducción a la Prueba:** durante la prueba, el sujeto es instruido sobre el procedimiento a realizar. En esta prueba el sujeto debe mantener la actividad durante los 30 segundos, saltando lo más rápido que pueda, respetando los márgenes de las dos líneas en el suelo, y sin soltar las manos durante la misma (en la espalda)  o con manos en la cintura (**Figura 25**). El tocar el tape es marcado como error. Si existe más de un 25% de error en la prueba, esta se debe repetir después de un periodo de 3 minutos de descanso[57,57,59,63].

**Requisitos:** Los requisitos necesarios son ropa deportiva y zapatillas; alimentación no menor a una hora antes de la prueba; estar en condiciones físicas de realizar la prueba; establecer dominancia de pierna[63].

**Contraindicaciones:** no presentar lesiones asociadas a la extremidad inferior (tobillo, rodilla, tobillo) al momento de la valoración[63]; no presentar inestabilidad de tobillo al momento de la evaluación[63].

**Calentamiento Sugerido:** antes de la prueba los sujetos completan un calentamiento de 5 minutos de bicicleta estacionaria, dos series de 10 sentadillas, dos series de 10 elevaciones de dedos y salto reactivo[57].

**Preparación:** la prueba se desarrolla con el sujeto logra un salto de lado a lado tan rápido como se posible entre dos líneas paralelas con 40 cm de separación. Los pasos a realizar son:

- Brevemente se entrega la información necesaria para que la realización sea lo más clara posible, sin perder el foco de la realización y que el atleta ejecute de la mejor manera posible la prueba, sin dudas al respecto.

- Inicialmente se realizan dos oportunidades como prueba, una para cada extremidad, para entender el concepto y el atleta pueda calibrar la distancia solicitada.

**Ejecución:** el atleta parte desde la posición unipodal con manos tomadas detrás del cuerpo o sobre las caderas, en una posición lo más estable posible y en alerta a la indicación de inicio de prueba. Al momento de dar el vamos, el atleta debe realizar la mayor cantidad de saltos posibles durante 30 segundos, respetando los márgenes establecidos y las indicaciones señaladas. Al finalizar el tiempo, la prueba se registra como exitosa si respetaron las condiciones de la prueba. De los toques realizados, solo pueden ser contados los que no estuvieron en contacto con las líneas demarcadoras de la prueba. Si esto ocurre, debe ser anulado del conteo cada vez que el pie toco la línea; si

estos superan el 25% del total de saltos realizados, la prueba debe ser repetida. Se debe partir con extremidad dominante y luego en la no dominante[63]. Entre un salto para extremidad dominante y otro, se debe esperar 1 minuto entre salto y salto, para así minimizar los riesgos de fatiga[57,63]. En caso de repetir la prueba por salto y toque excesivo de cintas, la espera es de 3 minutos, evitando la fatigabilidad en la prueba[63].

El Side Hop Test se puede dividir en 4 fases[63]:

Fase de contacto de salto medial (MC).
Fase de vuelo salto lateral (LF).
Fase de contacto de salto lateral (LC).
Fase de vuelo de salto medial (MF).

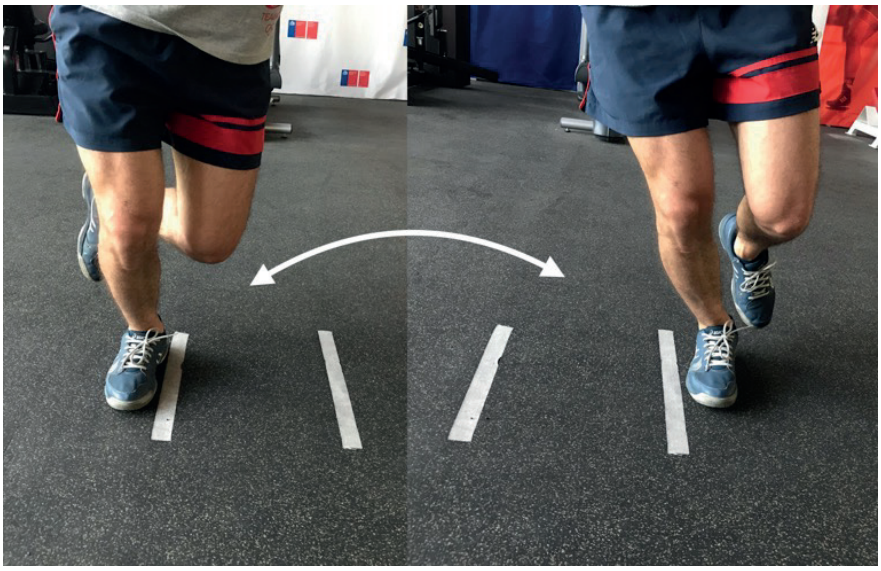


**Figura 25**. Representación de la prueba Side Hop Test.

*Periodicidad del monitoreo*

Al ser una prueba de corte transversal, no existen trabajos que hablen de

la periodicidad, pues es una prueba comparativa entre ambas extremidades y logra valorar la diferencia entre extremidades del mismo sujeto[57]. Sin embargo, como esta prueba entrega datos de asimetría entre una extremidad y la otra, la prueba debiese ser realizada al menos 1 vez al año en caso que no exista una diferencia que no supere el 15% entre ambas extremidades. Sin embargo, si hubiese un valor mayor al mínimo de diferencia permitido, deberá ser programada un monitoreo trimestral, bajo supervisión de trabajo especializado, para así lograr controlar una diferencia marcada de ambas extremidades y equilibrar las diferencias.

# Referencias


**1.** Colegio de Kinesiólogos de Chile. Exclusividad Universitaria en Kinesiología. https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=91949&prmTIPO=DOCUMENTOCOMISION#:~:text=La%20Kinesiolog%C3%ADa%20en%20Chile%20est%C3%A1,nacimiento%20a%20la%20Educaci%C3%B3n%20F%C3%ADsica.&text=En%20el%20a%C3%B1o%201935%20se,Kinesiolog%C3%ADa%20los%20precursores%20de%20ella.

**2.** Remondière, R. Historia del conocimiento y de la práctica de la kinesiterapia. EMC - Kinesiterapia - Med. Física 30, 1-15 (2009).

**3.** IFSPT. Federación internacional de Fisioterapia Deportiva. https://ifspt.org/en-espanol/.

**4.** Rehabilitación. Organización Mundial de la Salud https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/rehabilitation.

**5.** Anggiat, L. Sports Rehabilitation Phases: A Literature Review. International J. Med. Exerc. Sci. 7, (2021).

**6.** Prentice, W. E. Rehabilitation Techniques for Sports Medicine and Athletic Training: Seventh Edition. (SLACK, Incorporated, 2020).

**7.** Ardern, C. L. et al. 2016 Consensus statement on return to sport from the First World Congress in Sports Physical Therapy, Bern. Br. J. Sports Med. 50, 853-864 (2016).

**8.** Buckthorpe, M., Frizziero, A. & Roi, G. S. Update on functional recovery process for the injured athlete: return to sport continuum redefined. Br. J. Sports Med. 53, 265-267 (2019).

**9.** Doege, J. et al. Defining Return to Sport: A Systematic Review. Orthop. J. Sports Med. 9, 23259671211009588 (2021).

**10.** Jaén, T. F. & García, P. G. Criterios para el retorno al deporte después de una lesión. Arch Med Deporte (2017).

**11.** Lalín, C. La redaptación lesional (I parte): fundamentación y contextualización. Red Rev Entren Deport 22, 27-35 (2008).

**12.** Magaña, P. L., González, H. R. Q. & Arias-Vázquez, P. I. Retorno al deporte, integrando el proceso desde la rehabilitación convencional a la readaptación deportiva: revisión narrativa. Arch. Med. Deporte Rev. Fed. Esp. Med. Deporte Confed. Iberoam. Med. Deporte 38, 253-260 (2021).

**13.** Taberner, M., Allen, T. & Cohen, D. D. Progressing rehabilitation after injury: consider the 'control-chaos continuum'. Br. J. Sports Med. 53, 1132-1136 (2019).

**14.** La Scala Teixeira, C. V. et al. Complexity: A Novel Load Progression Strategy in Strength Training. Front. Physiol. 10, 839 (2019).

**15.** Davies, G., Heiderscheit, B., Manske, R., Neitzel, J. & Schulte, R. The scientific and clinical rationale for the integrated approach to open and closed kinetic chain rehabilitation. Orthop. Phys. Ther. Clin. N. Am. 9, 247-267 (2000).

**16.** Ellenbecker, T. S. & Davies, G. J. Closed kinetic chain exercise: a comprehensive guide to multiple joint exercise. (Human Kinetics, 2001).

**17.** Fort Vanmeerhaeghe, A. & Romero Rodriguez, D. Análisis de los factores de riesgo neuromusculares de las lesiones deportivas. Apunts Sports Med. 48, 109-120 (2013).

**18.** Singla, D. & Veqar, Z. Methods of Postural Assessment Used for Sports Persons. J. Clin. Diagn. Res. JCDR 8, LE01-LE04 (2014).

**19.** Hickey, D., Solvig, V., Cavalheri, V., Harrold, M. & Mckenna, L. Scapular dyskinesis increases the risk of future shoulder pain by 43% in asymptomatic athletes: a systematic review and meta-analysis. Br. J. Sports Med. 52, 102-110 (2018).

**20.** O'Connor, S., McCaffrey, N., Whyte, E. & Moran, K. The Development and Reliability of a Simple Field-Based Screening Tool to Assess for Scapular Dyskinesis. J. Sport Rehabil. 25, 2015-0054 (2016).

**21.** Watson, L., Balster, S. M., Finch, C. & Dalziel, R. Measurement of scapula upward rotation: a reliable clinical procedure. Br. J. Sports Med. 39, 599-603 (2005).

**22.** Aytar, A., Zeybek, A., Pekyavas, N. O., Tigli, A. A. & Ergun, N. Scapular resting position, shoulder pain and function in disabled athletes. Prosthet. Orthot. Int. 39, 390-396 (2015).

**23.** Heyward, O. W., Vegter, R. J. K., de Groot, S. & van der Woude, L. H. V. Shoulder complaints in wheelchair athletes: A systematic review. PloS One 12, e0188410 (2017).

**24.** Fullerton, H. D., Borckardt, J. J. & Alfano, A. P. Shoulder pain: a comparison of wheelchair athletes and nonathletic wheelchair users. Med. Sci. Sports Exerc. 35, 1958-1961 (2003).

**25.** Cook, G., Burton, L. & Hoogenboom, B. Pre-Participation Screening: The Use of Fundamental Movements as an Assessment of Function - Part 1. North Am. J. Sports Phys. Ther. NAJSPT 1, 62-72 (2006).

**26.** Cook, G., Burton, L., Hoogenboom, B. J. & Voight, M. Functional movement screening: the use of fundamental movements as an assessment of function-part 2. Int. J. Sports Phys. Ther. 9, 549-563 (2014).

**27.** Duclos, N., Duclos, C. & Mesure, S. Control postural: fisiología, conceptos principales e implicaciones para la readaptación. EMC - Kinesiterapia - Med. Física 38, 1-9 (2017).

**28.** Bell, D. R., Guskiewicz, K. M., Clark, M. A. & Padua, D. A. Systematic Review of the Balance Error Scoring System. Sports Health 3, 287-295 (2011).

**29.** Pinheiro, L. S. P. et al. Prevalence and incidence of injuries in para athletes: a systematic review with meta-analysis and GRADE recommendations. Br. J. Sports Med. 55, 1357-1365 (2021).

**30.** Iverson, G. L. & Koehle, M. S. Normative Data for the Balance Error Scoring System in Adults. Rehabil. Res. Pract. 2013, 846418 (2013).

**31.** Soylu, Ç., Yıldırım, N. Ü., Akalan, C., Akınoğlu, B. & Kocahan, T. The Relationship Between Athletic Performance and Physiological Characteristics in Wheelchair Basketball Athletes. Res. Q. Exerc. Sport 92, 639-650 (2021).

**32.** Külünkoğlu, B., Akkubak, Y. & Ergun, N. The profile of upper extremity muscular strength in female wheelchair basketball players: a pilot study. J. Sports Med. Phys. Fitness 58, 606-611 (2018).

**33.** Bohannon, R. W. Dynamometer measurements of hand-grip strength predict multiple outcomes. Percept. Mot. Skills 93, 323-328 (2001).

**34.** Kibler, W. B., Press, J. & Sciascia, A. The role of core stability in athletic function. Sports Med. Auckl. NZ 36, 189–198 (2006).

**35.** Vera-García, F. J. et al. Core stability: evaluación y criterios para su entrenamiento. Rev. Andal. Med. Deporte 8, 130–137 (2015).

**36.** McGill, S. M., Grenier, S., Kavcic, N. & Cholewicki, J. Coordination of muscle activity to assure stability of the lumbar spine. J. Electromyogr. Kinesiol. Off. J. Int. Soc. Electrophysiol. Kinesiol. 13, 353–359 (2003).

**37.** Willardson, J. M. Core stability training: applications to sports conditioning programs. J. Strength Cond. Res. 21, 979–985 (2007).

**38.** Cowley, P. M., Fitzgerald, S., Sottung, K. & Swensen, T. Age, weight, and the front abdominal power test as predictors of isokinetic trunk strength and work in young men and women. J. Strength Cond. Res. 23, 915–925 (2009).

**39.** Zazulak, B. T., Hewett, T. E., Reeves, N. P., Goldberg, B. & Cholewicki, J. Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk: a prospective biomechanical-epidemiologic study. Am. J. Sports Med. 35, 1123–1130 (2007).

**40.** Sharrock, C., Cropper, J., Mostad, J., Johnson, M. & Malone, T. A pilot study of core stability and athletic performance: is there a relationship? Int. J. Sports Phys. Ther. 6, 63–74 (2011).

**41.** Smith, B. E., Littlewood, C. & May, S. An update of stabilisation exercises for low back pain: a systematic review with meta-analysis. BMC Musculoskelet. Disord. 15, 416 (2014).

**42.** Manchado, C., García-Ruiz, J., Cortell-Tormo, J. M. & Tortosa-Martínez, J. Effect of Core Training on Male Handball Players' Throwing Velocity. J. Hum. Kinet. 56, 177–185 (2017).

**43.** Evans, K., Refshauge, K. M. & Adams, R. Trunk muscle endurance tests: reliability, and gender differences in athletes. J. Sci. Med. Sport 10, 447–455 (2007).

**44.** Barbado, D., Irles-Vidal, B., Prat-Luri, A., García-Vaquero, M. P. & Vera-Garcia, F. J. Training intensity quantification of core stability exercises based on a smartphone accelerometer. PLoS ONE 13, e0208262 (2018).

**45.** McGill, S. M., Childs, A. & Liebenson, C. Endurance times for low back stabilization exercises: clinical targets for testing and training from a normal database. Arch. Phys. Med. Rehabil. 80, 941–944 (1999).

**46.** Krause, D. A., Youdas, J. W., Hollman, J. H. & Smith, J. Abdominal muscle performance as measured by the double leg-lowering test. Arch. Phys. Med. Rehabil. 86, 1345–1348 (2005).

**47.** Weir, A. et al. Core stability: inter- and intraobserver reliability of 6 clinical tests. Clin. J. Sport Med. Off. J. Can. Acad. Sport Med. 20, 34–38 (2010).

**48.** Eckard, T. et al. Association between double-leg squat and single-leg squat performance and injury incidence among incoming NCAA Division I athletes: A prospective cohort study. Phys. Ther. Sport Off. J. Assoc. Chart. Physiother. Sports Med. 34, 192–200 (2018).

**49.** Chorba, R. S., Chorba, D. J., Bouillon, L. E., Overmyer, C. A. & Landis, J. A. Use of a functional movement screening tool to determine injury risk in female collegiate

athletes. North Am. J. Sports Phys. Ther. NAJSPT 5, 47–54 (2010).

**50.** Gribble, P. A., Brigle, J., Pietrosimone, B. G., Pfile, K. R. & Webster, K. A. Intrarater reliability of the functional movement screen. J. Strength Cond. Res. 27, 978–981 (2013).

**51.** Kraus, K., Schütz, E., Taylor, W. R. & Doyscher, R. Efficacy of the functional movement screen: a review. J. Strength Cond. Res. 28, 3571–3584 (2014).

**52.** Troule, S. & Casamichanana, D. Aplicación de pruebas funcionales para la detección de asimetrías en jugadores de fútbol. J. Sport Health Res. 8, 53–64 (2016).

**53.** Cadenas-Sanchez, C. et al. Assessing physical fitness in preschool children: Feasibility, reliability and practical recommendations for the PREFIT battery. J. Sci. Med. Sport 19, 910–915 (2016).

**54.** Kockum, B. & Heijne, A. I.-L. M. Hop performance and leg muscle power in athletes: Reliability of a test battery. Phys. Ther. Sport Off. J. Assoc. Chart. Physiother. Sports Med. 16, 222–227 (2015).

**55.** Reid, A., Birmingham, T. B., Stratford, P. W., Alcock, G. K. & Giffin, J. R. Hop testing provides a reliable and valid outcome measure during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. Phys. Ther. 87, 337–349 (2007).

**56.** Rudolph, K. S., Axe, M. J. & Snyder-Mackler, L. Dynamic stability after ACL injury: who can hop? Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. Off. J. ESSKA 8, 262–269 (2000).

**57.** Gustavsson, A. et al. A test battery for evaluating hop performance in patients with an ACL injury and patients who have undergone ACL reconstruction. Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. Off. J. ESSKA 14, 778–788 (2006).

**58.** Ostenberg, A., Roos, E., Ekdahl, C. & Roos, H. Isokinetic knee extensor strength and functional performance in healthy female soccer players. Scand. J. Med. Sci. Sports 8, 257–264 (1998).

**59.** Itoh, H., Kurosaka, M., Yoshiya, S., Ichihashi, N. & Mizuno, K. Evaluation of functional deficits determined by four different hop tests in patients with anterior cruciate ligament deficiency. Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. Off. J. ESSKA 6, 241–245 (1998).

**60.** Martinez, A., Pascuas, S. & Pérez, S. A. Evaluación del retorno deportivo post lesión de ligamento cruzado anterior: hacia un nuevo enfoque en el análisis del movimiento. in (2019).

**61.** Schneider, I., Kammann, N. & Haertel, O. 259 Should the side-hop test be reduced from 40 cm to 30 cm when used in developmental athletes? Br. J. Sports Med. 55, A100–A101 (2021).

**62.** Kamonseki, D. H., Cedin, L., Tavares-Preto, J. & Calixtre, L. B. Reliability, validity, and minimal detectable change of Side Hop Test in male children and adolescents. Phys. Ther. Sport Off. J. Assoc. Chart. Physiother. Sports Med. 34, 141–147 (2018).

**63.** Ono, K., Nozu, S., Yoshida, T., Maemura, H. & Tanigawa, S. Lower limb kinetic characteristics of the side-hop test in healthy individuals. ISBS Proc. Arch. 39, 57 (2021).

# LINEAMIENTOS DE NUTRICIÓN DEPORTIVA APLICADA AL ALTO RENDIMIENTO

**Autores:**
Juan Tejo, Isabel Morales, Estefanía Soto, Bárbara Arancibia.

# TABLA DE CONTENIDOS


Introducción 413

Área De Nutrición Deportiva 419

Propuesta del Área sobre el Manejo Nutricional Deportivo: Periodización de la Alimentación 420

Aspectos Considerados en la Toma de Decisiones y Planificación de la Intervención Nutricional Deportiva en la UCAD 420

Objetivos del Área de Nutrición Deportiva UCAD 422

Objetivo General 422

Objetivos Específicos 423

Participación del Área de Nutrición Deportiva en los Pilares Estratégicos de Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte 423

Pilar de Prevención de Lesiones y Enfermedades 424

Pilar de Evidencia Diagnóstica, Rehabilitación y Reintegro Deportivo 425

Pilar de Perfeccionamiento, Investigación, Tecnología e Innovación 426

Valoraciones Primarias y Secundarias Utilizadas en el Área de Nutrición Deportiva de la UCAD 427

Valoración Anamnesis Nutricional Deportiva 428

Valoración Antropometría 429

Valoración de Calorimetría Indirecta 435

Valoraciones Bioquímicas y Hematológicas de Importancia Nutricional en el Deporte 444

Valoración de la Hidratación 448

Valoración para Manejo del Peso Corporal 455

Referencias 461

# INTRODUCCIÓN

En la época del paleolítico hace 50.000 años, el homo neanderthalensis y el homo sapiens realizaban grandes desplazamientos para recolectar y cazar. Esta característica de la vida los ubica como predecesores de los actuales atletas, al menos en lo que supone su hábito de movimiento regular. Ellos tenían una estatura elevada, eran fuertes, con pocas enfermedades crónicas y degenerativas, y su dieta estaba integrada por carne magra de la caza, frutas silvestres y frutos secos, disponibles de forma esporádica y estacional. Esto implicaba que su alimentación habitual se basaba en la carne y el pescado, que estaban disponibles de forma más constante.

De forma concreta aparece el interés por la alimentación, el ejercicio y la salud en pensadores de civilizaciones como la Sumeria, India, Egipto, China, Persia, entre otras, vinculado fundamentalmente a mejorar los desplazamientos a pie de tropas militares[1]. En la antigua Grecia, este vinculo entre alimentos y rendimiento deportivo aparece claramente a través de la selección de alimentos y modificaciones de la preparación con un objetivo en las mejoras deportivas[2]. Eran los entrenadores o paidotribos quienes aconsejaban a sus atletas sobre la alimentación que debían seguir. Por ejemplo, el paidotribo y filósofo Pitágoras de Crotona recomendaba un régimen hiperproteico a los atletas[3]. Esta situación ocurría mientras la alimentación de la población general se basaba en cereales, higos, queso fresco y dulces, y muy excepcionalmente incluían carne y vino. Se dice que Milón de Crotona, 5 veces campeón olímpico de lucha (532-516 a. C.) y discípulo de Pitágoras, utilizaba en su alimentación diariamente 9 kg de pan, 9 kg de carne y 8.5 litros de vino. Era una época caracterizada por la búsqueda de récords a través del consumo de la carne más adecuada para cada especialidad, así la de cabra era utilizada por los saltadores, la de toro para los corredores y la de cerdo para los luchadores. Estos conocimientos y prácticas fueron posteriormente utilizados por los entrenadores de los gladiadores en la antigua Roma[1].

La nutrición moderna comienza su desarrollo en el siglo XVII, de la mano del desarrollo de ciencias como la química y la fisiología, apareciendo una referencia explícita de nutrición y deporte el año 1897 durante la primera maratón de Boston. Aquí, se discuten temas vinculados a la hidratación al señalar la peligrosidad de la prohibición del consumo de agua durante los primeros 10 kilómetros, el riesgo del consumo de alcohol durante las pruebas deportivas (que no sólo no era prohibido sino hasta recomendado) y el uso de proteínas para el rendimiento aeróbico como el mejor apoyo nutricional. En los inicios el siglo XX se realizaron trabajos que informan sobre la relación existente entre el rendimiento deportivo y la dieta[4], estableciéndose que el consumo de alimentos altos en carbohidratos previo al inicio, y la ingestión de glucosa durante el transcurso de ejercicios prolongados de intensidad moderada, retrasaban la aparición de la fatiga al prevenir la hipoglicemia y mejoraban el rendimiento[5]. En el año 1911, se determinó que las grasas, además de los hidratos de carbono, proporcionaban energía durante la actividad física[6]. Se demostró que en los corredores de maratón existía una estrecha relación entre los niveles de glucosa plasmática y el grado de fatiga tras la finalización de la prueba, reconociendo entonces que la administración de hidratos de carbono es beneficiosa para el rendimiento7,8. En 1939 se comprobó la forma en que contribuye la oxidación de las grasas y los hidratos de carbono al metabolismo energético en función de la intensidad del ejercicio realizado. Cuanto más alta es la intensidad de ese ejercicio, mayor es la importancia que adquiere el contenido en carbohidratos de la dieta, mientras qué a intensidades bajas, la mayor parte del gasto energético proviene de la oxidación de las grasas. Fue en 1965 cuando a través de biopsias musculares, una investigación conducida por Jonas Bergstrom, se descubre el rol del glucógeno en el rendimiento[7]. En el año 1951, en la revista *Canadian Medical Association Journal*, se publicó un trabajo donde se describen recomendaciones nutricionales para el pre, durante y post ejercicio. Sin embargo, algunas de las ideas planteadas en ese momento se contraponen lo que hoy señala la ciencia. Por ejemplo, se concluye (entre otros) que no existe ninguna justificación para suplementar la dieta para el entrenamiento o competición con preparados como concentrados de vitaminas, creatina, glicina, gelatina, fosfatos y lecitina.

Con el transcurso de los años la nutrición deportiva ha avanzado a través de acciones aplicadas en múltiples situaciones de la practica deportiva[2]. Frente a la amplia gama de caracteristicas biológicas especificas que determinan el rendimiento, existen objetivos comunes en torno al apoyo nutricional para la adaptación al entrenamiento, la optimización del rendimiento, la modulación para eventos específicos, como también para reducir el riesgo de lesiones y enfermedades[2]. Hoy se construyen recomendaciones en situaciones deportivas tan diversas como el de atletas en viaje, para atenuar el jet lag, para la práctica en entornos "hostiles" asociados a temperatura ambiente y altitud, para atletas con discapacidades, para grupos específicos como niños, jóvenes y maestros del deporte, o asociado a restricciones alimentarias como por ejemplo vegano-vegetariano, prevención de déficit crónico de energía, intolerancia al gluten, alergias alimentarias, entre otros[9]. La política de "la comida primero" es otro de estos actuales principios pues se privilegia el plan de nutrición de un atleta basado en comida real, y se recurre a los suplementos o alimentos deportivos de forma muy selectiva y racional para abordar las deficiencias de nutrientes que ayudan al atleta a cumplir metas nutricionales[5]. Se busca con diversas herramientas desarrollar un plan nutricional personalizado, periodizado y práctico a través de la coordinación y colaboración del nutricionista, el equipo de apoyo inter/transdisciplinario y el cuerpo técnico del atleta.

Hoy en día es incuestionable la influencia de la alimentación en el deporte, de tal forma que la nutrición deportiva se reconoce como parte fundamental del bienestar, rendimiento y de las adaptaciones propias de la carga de entrenamiento planificada.

**Consensos Científicos y Posiciones Internacionales que relevan el aporte de la Nutrición Deportiva al Rendimiento Deportivo y la necesidad de un manejo nutricional aplicado al Entrenamiento Deportivo**

*Consenso Científico Internacional (COI) Nutrición Deportiva 1991*
La alimentación influencia significativamente el rendimiento deportivo. Una alimentación adecuada, en términos de cantidad y calidad, antes,

durante y después del entrenamiento y competencia, maximizará tu rendimiento[10].

*Consenso Científico Internacional (COI) Nutrición Deportiva 2003*

La nutrición es importante para cada uno de nosotros para mantenernos en forma. Es uno de los elementos clave para el éxito del atleta, ya que contribuye en gran medida a lograr el rendimiento para el que él o la atleta que está entrenando, evitando cualquier deterioro en su salud. Una alimentación adecuada, debe incluir los elementos que son esenciales y específicos para cada deporte[11].

*Consenso Científico Internacional (COI) Nutrición Deportiva 2010*

Para disfrutar de todos los beneficios del deporte, los atletas, ya sea que compitan a nivel de elite o se ejerciten de forma recreativa, deben adoptar estrategias de nutrición especificas que puedan optimizar el rendimiento físico y mental, respaldando una buena salud[12].

*Consenso Científico Internacional (COI) Nutrición Deportiva 2013*

A medida que el deporte se ha vuelto más profesionalizado en los últimos treinta años, el papel de la nutrición en la promoción de la salud y el rendimiento se ha vuelto cada vez más importante para los atletas que buscan una ventaja adicional para tener éxito en sus respectivos deportes. Con la expansión en la provisión de servicios de apoyo médico y científico en el deporte de élite, quienes asesoran a los atletas han tenido que convertirse en expertos en identificar aquellas estrategias dietéticas que les ayudarán a superar a sus competidores.

*Posición de la Academia de Nutrición y Dietética, Dietistas de Canadá y Colegio Americano de Medicina Deportiva: Nutrición y Rendimiento Atlético 2016.*

El rendimiento y la recuperación de las actividades deportivas se mejoran mediante estrategias de nutrición bien elegidas. Estas organizaciones proporcionan pautas para el tipo, la cantidad y el momento adecuados de ingesta de alimentos, líquidos y suplementos dietéticos para promover la salud y el rendimiento deportivo óptimos en diferentes escenarios de entrenamiento y deporte competitivo[13].

*Reunión de Consenso (COI) sobre Suplementos Dietarios y el Atleta de Alto Rendimiento 2017.*

Los suplementos dietéticos pueden desempeñar un papel pequeño en el plan de nutrición deportiva de un atleta, con productos que incluyen micronutrientes esenciales, alimentos deportivos, suplementos para el rendimiento y suplementos para la salud, todos potencialmente proporcionando beneficios. Algunos suplementos, cuando se usan de manera apropiada, pueden ayudar a los atletas a alcanzar los objetivos de nutrición deportiva, entrenar duro y mantenerse saludables y libres de lesiones. Los suplementos que afirman mejorar directa o indirectamente el rendimiento suelen ser el grupo mas grande de productos comercializados para los atletas, pero solo unos pocos tienen buena evidencia de beneficios. Los suplementos destinados a mejorar el rendimiento deben probarse a fondo en entrenamiento y competición simulada antes de ser utilizados en competición. La ingestión involuntaria de sustancias prohibidas por los códigos antidopaje que rigen el deporte de elite es un riesgo conocido de la ingesta de alguno suplementos[14].

## Consensos relativos al manejo de la Energía y Estado Nutricional en el Deporte

*Declaración de Consenso (COI) sobre la Triada de la Mujer Atleta 2005*
Proteger la salud del atleta es el objetivo principal de la Comisión Médica del Comité Olímpico Internacional (COI MC). Federaciones internacionales y órganos rectores del deporte deben reconocer las presiones, acciones y situaciones que pueden ser perjudiciales para la salud de un atleta. Un área de preocupación para muchas atletas es la presión para alcanzar niveles de grasa corporal o peso poco realistas[15].

*Declaración de Consenso (COI) sobre Deficiencia Energética Relativa al Deporte (REDS-S), mas allá de la Triada de la Mujer Atleta 2015*
El año 2015, el COI convoca a un grupo de expertos para actualizar la declaración de consenso sobre la triada de la mujer atleta. Se introduce un término mas amplio y complejo para la condición: Deficiencia

Energética Relativa la Deporte (REDS-S). Este concepto apunta a la complejidad involucrada y al hecho que atetas masculinos también se ven afectados. EL REDS-S se refiere a una función fisiológica deteriorada que incluye, entre otros, la tasa metabólica, la función menstrual, la salud ósea, la inmunidad, la síntesis de proteínas y la salud cardiovascular causada por la deficiencia energética[16].

*Declaración de Consenso (COI) sobre Composición Corporal, Salud y Rendimiento en el Deporte 2012*

La composición corporal es una variable importante para la salud y el rendimiento. En deportes sensibles al peso, muchos atletas utilizan métodos extremos para reducir o mantener rápidamente una masa corporal baja con el fin de obtener una ventaja competitiva. El modelo multi-componente (derivado del volumen corporal, el agua corporal total, el mineral óseo y la masa corporal) podría emplearse como criterio de rendimiento o de selección. Sin embargo, cuando se monitorea la composición corporal para evaluar la efectividad de una intervención, entonces otros métodos de laboratorio o de campo como DXA, densitometría, antropometría o ultrasonido pueden ser más prácticos[17].

*Declaración de Consenso (COI) de la Asociación Internacional de Federaciones de Atletismo 2019: Nutrición para Atletas*

La Asociación Internacional de Federaciones de Atletismo reconoce la importancia de las prácticas nutricionales para optimizar el bienestar y rendimiento. Se pueden proporcionar pautas periodizadas para el tipo, la cantidad y el momento adecuados de la ingesta de alimentos y líquidos para promover una salud y un rendimiento óptimos en diferentes escenarios de entrenamiento y competición. Idealmente, cada atleta debería desarrollar un plan nutricional personalizado, periodizado y práctico a través de la colaboración con su entrenador y expertos en nutrición deportiva acreditados, con el objetivo de optimizar su rendimiento[18].

## Área de Nutrición Deportiva

El Área de Nutrición deportiva de la UCAD se compone de profesionales nutricionistas con especialización y experiencia en el deporte. Actualmente, todas las actividades desarrolladas responden a las directrices que tiene la UCAD del Instituto Nacional de Deportes de Chile.

## Propuesta del Área sobre el Manejo Nutricional Deportivo: Periodización de la Alimentación

El Área de Nutrición Deportiva UCAD propone abordar la alimentación en atletas acorde a los volúmenes e intensidades que realizan, estableciendo los objetivos a través de un manejo que integra la alimentación al entrenamiento. Este enfoque, denominado periodización nutricional[19,20], es el uso planificado, intencionado y estratégico de intervenciones nutricionales específicas para mejorar las adaptaciones a las que se dirigen las sesiones de ejercicio individuales o los planes de entrenamiento, o para obtener otros efectos que mejoren el rendimiento a largo plazo. Por lo tanto, la intervención nutricional deportiva contempla proporcionar pautas especificas de alimentación con el tipo, cantidad y el momento de la ingesta de alimentos y líquidos, promoviendo la salud y un rendimiento óptimo en diferentes escenarios de entrenamiento y competición[20,21]. La propuesta de alimentación se construye sobre un conjunto de actividades de valoración y monitoreo sistemático al atleta a partir de la planificación del entrenamiento, sus objetivos deportivos y la individualidad[22].

## Aspectos Considerados en la Toma de Decisiones y Planificación de la Intervención Nutricional Deportiva en la UCAD

**Individualidad:** La nutrición debe ajustarse a las características propias del sujeto y/o población abordada. Esto es importante pues provee de

información que permite planificar las modificaciones y adaptaciones de la alimentación a los requerimientos particulares que tiene un atleta. Entre estas caracteristicas a considerar se puede señalar grupo etario, estado de salud, antecedentes médicos, nivel socioeconómico, patrones de alimentación previos (los que a veces excluyen los productos animales), nivel de desarrollo deportivo, respuestas biológicas y metabólicas al entrenamiento, características de personalidad por el tipo de deporte que practica, entre otros[23].

**Manejo nutricional integrado a la carga de entrenamiento:** Se analiza y periodiza la alimentación de un atleta considerando la planificación del entrenamiento deportivo. La selección de volúmenes calóricos, nutrientes, alimentos y suplementos se ordenan considerando los elementos del entrenamiento deportivo, tal como la dinámica de las cargas de entrenamiento, los micro y meso ciclos, esquema de competencias, entre otros[20].

**Consideración de la diferente temporalidad de los objetivos nutricionales:** Un elemento que permite organizar y/o priorizar los objetivos nutricionales del atleta es considerar la temporalidad o más bien, el tiempo que se necesita-dispone para alcanzarlos en consideración de la planificación del entrenamiento. Esto facilita organizar los recursos y esfuerzos, permitiendo al cuerpo técnico, equipo de ciencias y al propio atleta decidir qué es lo que se implementará, qué elementos se descartan, por cuánto tiempo se debe insistir con la modificación, entre otros. Por ejemplo, incrementar la masa muscular requiere semanas o meses, espacio de tiempo en el cual se debe cautelar que la cantidad de energía y proteínas estén en un balance positivo (adaptación crónica)[19].

**Naturaleza de la carga de entrenamiento en el impacto que produce:** Es fundamental integrar las diferentes fuentes de información (bioquímicas, antropométricas, nutricionales) que emanan de la práctica deportiva para intervenir. Por ejemplo, una carga de tipo anabólica con sobrecarga o anaeróbica de alta intensidad (pesas, elásticos, propio peso corporal, entre otras) generará cambios cualitativamente muy

diferentes a los que observaremos con cargas aeróbicas de baja intensidad, aún cuando ambos programas de entrenamiento tengan gastos de energía similares y/o que el atleta consuma los mismos alimentos. En el primer caso, la respuesta hormonal cursará con incremento de la testosterona y con mayor tendencia al incremento de la masa muscular mientras que en el segundo caso, la modificación que observaremos es más bien catabólica, con baja de grasa y muchas veces pérdida de masa muscular[21].

**Los elementos de la intervención nutricional se entrenan:** todos los elementos nutricionales que se incorporan deben ser monitoreados y modelados en entrenamiento de forma previa a ser utilizados en competencia o a ser implementados permanentemente en el entrenamiento. Esto permite preparar al sistema digestivo para enfrentar los diferentes momentos de la ingesta (timing), volúmenes y formatos (e.g., la tolerancia a diferentes osmolaridades[19,20].

**Figura 1**. Aspectos a considerar en la toma de decisiones y planificación de la intervención nutricional deportiva.

## Objetivos del Área de Nutrición Deportiva UCAD

*Objetivo General*

Apoyar y monitorear los procesos de entrenamiento deportivo de los atletas de alto rendimiento de Chile en los aspectos nutricionales y de adaptaciones que puedan ser consolidadas con el apoyo de alimentos,

suplementos nutricionales o herramientas educativas.

*Objetivos Específicos*

- Proponer esquemas de manejo nutricional a técnicos y atletas nacionales, guiados en la evidencia científica y datos propios recopilados.
- Generar protocolos de valoración nutricional adaptados en su aplicación hacia el rendimiento deportivo y prevención de lesiones.
- Establecer modelos antropométricos y del estado nutricional en los deportes para su utilización por parte de profesionales de apoyo, técnicos y atletas nacionales
- Desarrollar valoraciones, reuniones científicas, análisis e informes nutricionales en atletas nacionales.
- Colaborar con los centros de entrenamiento regionales, programa de Promesas Chile u otra iniciativa ministerial desde aspectos científicos, técnicos, tecnológicos y metodológicos
- Liderar procesos de investigación y perfeccionamiento relacionados con la nutrición y el rendimiento deportivo.

**Participación del Área de Nutrición Deportiva en los Pilares Estratégicos de Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte**

La UCAD posee cuatros pilares de desarrollo, los que contemplan:

**1.** Pilar de rendimiento.
**2.** Pilar de prevención de Lesiones y enfermedades.
**3.** Pilar de Evidencia Diagnóstica, Rehabilitación y Reintegro Deportivo.
**4.** Pilar de Perfeccionamiento, Investigación, Tecnología e Innovación.

A estos pilares, el área de Nutrición Deportiva tributa desde objetivos vinculados a los atletas y al deporte de alto rendimiento.

## Pilar de Rendimiento

EL enfoque de la nutrición para el rendimiento se basa en la periodización nutricional, concepto que incluye un conjunto de actividades, valoraciones, procedimientos y monitoreo sistemático al atleta y su carga de entrenamiento. La intervención nutricional debe ser planificada, intencionada y estratégica, apuntando a modular la respuesta metabólica del atleta para conseguir adaptaciones mayores a las alcanzadas únicamente con el entrenamiento. La periodización nutricional desarrolla objetivos y actividades a partir de la planificación del entrenamiento (considerando la carga y el evento fundamental) y la individualidad del atleta como sus antecedentes de salud, perfil antropométrico, respuesta a la carga de entrenamiento, patrón de alimentación, aspectos sicológicos, entre otros, los cuales puedan influir en el manejo nutricional.

*Objetivos Nutricionales Específicos del Pilar de Rendimiento*

- Diseño y aplicación de modelos de monitoreo nutricional individualizados a las caracteristicas del atleta y de la carga de entrenamiento.
- Generación de estrategias nutricionales y educativas que posibiliten la consolidación del entrenamiento nutricional y de las adaptaciones metabólicas y estructurales vinculadas el rendimiento deportivo.
- Monitoreo de disponibilidad energética aguda y crónica en las diferentes fases de la preparación deportiva.
- Análisis de biomarcadores vinculados a la carga de entrenamiento para mantener o modificar el estatus nutricional durante el proceso de preparación deportiva.
- Diseño de perfiles nutricionales por deporte, considerando la optimización morfológica.
- Monitoreo de la composición corporal, considerando la valoración de ambos lados (derecho-izquierdo), evolución de trofismo muscular en segmentos o zonas críticas para el deporte, y valorización pre y post operatorias, entre otras.

- Facilitar los procesos de recuperación a través de estrategias nutricionales tendientes a mejorar la relación entre catabolismo y anabolismo.
- Integrar al cuerpo técnico y atleta en el abordaje nutricional preventivo, considerando su implementación durante los periodos de entrenamiento-competencia

## Pilar de Prevención de Lesiones y Enfermedades

Este pilar agrupa las valoraciones diagnósticas e intervenciones que buscan pesquisar y monitorear la presencia de componentes nutricionales que pueden propiciar la incidencia de lesiones en atletas. Estas intervenciones nutricionales preventivas deben ser planificadas y protocolizadas para favorecer así su replicación.

*Objetivos Nutricionales Específicos del Pilar de Prevención de Lesiones y Enfermedades*

- Pesquisar variables alimentarias, bioquímicas y antropométricas que se pueden vincular con el riesgo de lesión.
- Diseñar plan de intervenciones nutricionales educativas para atletas y cuerpo técnico orientadas a la prevención de lesiones.
- Categorizar a atletas según factores predictores de riesgo asociados a lesión o enfermedad.

*Actividades que se desarrollan:*

- Supervisión y modificación de las estrategias nutricionales para la recuperación entre sesiones de entrenamiento y/o competencias.
- El monitoreo focalizado de los déficits de energía y disponibilidad energética aguda y crónica.
- Análisis y monitoreo de biomarcadores del estatus nutricional y su relación con la fatiga y propensión a la lesión.
- Diseño de protocolos individualizados para la restauración de la homeostasis hidroelectrolítica y de nutrientes esenciales en la

recuperación de diferentes tejidos (óseo, muscular, tendinoso, entre otros).
- Incorporación periodizada de suplementos con la evidencia científica pertinente que respalde su uso.

## Pilar de Evidencia Diagnóstica, Rehabilitación y Reintegro Deportivo

*Pilar de Evidencia Diagnóstica*

Conjunto de valoraciones que buscan pesquisar y monitorear deficiencias o alteraciones nutricionales que contribuyan a explicar la aparición y/o persistencia de una lesión y que permitan tomar acciones planificadas y oportunas que coadyuven en la recuperación y reintegro deportivo. Dentro de los factores claves que pueden estar asociados a una lesión se encuentran la masa adiposa y masa muscular fuera de rango (ver Criterios de Rendimiento en **Capítulo 1**), deficiencia relativa de energía, deficiencia de vitamina D, antecedentes de deshidratación severa y cambios bruscos de peso en un período acotado de tiempo o cambios de patrones de alimentación sin supervisión, entre otros.

*Pilar de Rehabilitación y Reintegro Deportivo*

Conjunto de intervenciones nutricionales específicas que contribuyen al tratamiento de la lesión y reintegro deportivo, o bien que reviertan deficiencias o alteraciones nutricionales que tengan relación con la presencia de una lesión deportiva y que promuevan su remisión. Las acciones nutricionales deben ser planificadas y monitoreadas en forma permanente y deben ir en concordancia con el estado de avance del tratamiento médico-kinésico, por lo que el trabajo inter/transdisciplinario debe ser continuo. El programa nutricional debe enfocarse en revertir las deficiencias pesquisadas, ajustar la dieta para evitar un aumento de peso excesivo y una pérdida de masa muscular que retrase la recuperación. Así mismo, debe incorporar un esquema periodizado de suplementos con evidencia científica pertinente que respalde su uso.

*Objetivos Nutricionales Específicos del Pilar de Evidencia Diagnóstica, Rehabilitación y Reintegro Deportivo:*

- Diagnosticar en forma oportuna las deficiencias o alteraciones nutricionales que ayuden a explicar la aparición y/o persistencia de una lesión.
- Pesquisar variables bioquímicas y antropométricas que se pueden vincular con el riesgo de lesión, evolución de trofismo muscular en segmentos o zonas criticas para el deporte, valorizando pre y post intervenciones interdisciplinarias.
- Desarrollar y monitorear un programa nutricional que contribuya al tratamiento de la lesión y reintegro deportivo o bien que apunte a revertir deficiencias o alteraciones nutricionales relacionadas con esta situación.

## Pilar de Perfeccionamiento, Investigación, Tecnología e Innovación

El método científico, aplicado a la nutrición deportiva, permite responder múltiples interrogantes que nacen en relación al atleta de alto nivel. El estudio de variables y fenómenos de interés, posibilita interpretar y comparar datos estadísticamente, permitiendo recopilar información valiosa para mejorar e innovar procesos y protocolos del área de nutrición, logrando así la llamada investigación aplicada, que se caracteriza por utilizar conocimientos adquiridos, mientras se generan otros mediante la implementación y sistematización de la práctica guiada por la investigación. A partir de esta manera de trabajar se pretende conocer la realidad de una manera rigurosa, organizada y sistemática de diversas variables relacionadas a la nutrición deportiva. Además de enriquecer el quehacer de la unidad, la investigación permite compartir los conocimientos generados con un fin pedagógico a entrenadores, técnicos, atletas y todo profesional relacionado directamente con el rendimiento y/o con la práctica deportiva.

*Objetivos Nutricionales del Pilar de Perfeccionamiento, Investigación, Tecnología e Innovación:*

- Dar respuesta concretas a interrogantes relacionadas con la nutrición deportiva mediante la sistematización, análisis estadístico e interpretación de variables nutricionales.
- Mejorar procesos y protocolos del Área de Nutrición Deportiva (e.g., innovación), guiándose en la evidencia científica local e internacional.
- Relacionar variables nutricionales (de ingesta, antropométricas y bioquímicas) con variables de otras áreas de la UCAD.
- Compartir la generación de conocimientos con un fin pedagógico a entrenadores, técnicos, atletas y todo profesional relacionado directamente con el rendimiento y/o con la práctica deportiva.

## Valoraciones Primarias y Secundarias Utilizadas en el Área de Nutrición Deportiva de la UCAD

Para apoyar la toma de decisiones respecto a incrementar los niveles de exigencia de los atletas (i.e., incrementar la carga de entrenamiento), se debe plantear la realización de diferentes valoraciones primarias y secundarias que permitan discriminar niveles y parámetros de rendimiento que sustenten desde el punto biológico tales determinaciones. Desde el punto de vista de la Nutrición Deportiva (**Tabla 1**), las **Valoraciones Primarias** buscan recopilar información básica y genérica para establecer una línea de base o un diagnóstico nutricional. Se utiliza en todos o en la mayoría de los atletas, e incorpora aspectos generales para iniciar la intervención nutricional deportiva. Por su parte, las **Valoraciones Secundarias** buscan indagar sobre aspectos específicos o una característica particular en la que se requiere profundizar en los aspectos nutricionales. Provee información de variables nutricionales en contextos específicos de competencia, entrenamiento y recuperación de lesiones.

**Tabla 1**. Valoraciones Primarias y Secundarias en el Área de Nutrición Deportiva.

| Tipo de Valoración | Valoración Primaria | Valoración Secundaria | Otras aplicaciones |
|---|---|---|---|
| Anamnesis nutricional | A todos los atletas | Estimación de micronutrientes; estudio de suficiencia | Pesquisa de riesgo de lesión; recuperación de lesiones y post cirugía; identificación de RED-S; requerimientos específicos de situación de entrenamiento o competencia |
| Antropometría | Perfil reducido: 6-8 pliegues / 5 perímetros/ 3 diámetros /peso / estatura | Perfil avanzado: talla sentado, longitudes óseas, diámetros óseos | Perímetros musculares bilaterales en deportes asimétricos; previo a cirugía, post lesión, en proceso de recuperación de lesión; requerimientos específicos de situación de entrenamiento o competencia |
| Calorimetría indirecta | --- | Tasa metabólica reposo / calorimetría en ejercicio / valoración de FatMáx. | En ajuste de requerimientos de energía para la actividad deportiva; en modulación de hidratación; en situaciones especificas de entrenamiento o competencia! |
| Pruebas bioquímicas en laboratorio | Perfil bioquímico / orina completa / Ck / hemograma / ferritina | Testosterona / cortisol / TSH / vitamina D | Por requerimientos específicos de situación de entrenamiento o competencia |
| Pruebas bioquímicas en terreno | --- | Glicemia en ejercicio; cetonas en orina (B-OH-MB, cetonas totales) | Aplicadas en situaciones de ajuste de requerimientos de energía agudos y crónicos pre, durante y post ejercicio |
| Valoraciones asociadas al nivel de hidratación | Densidad Urinaria | Tasa de sudoración / valoración de sodio en sudor | En estudio de necesidades hídricas en entrenamiento y competencias; en valoración o modulación de propuestas de hidratación |
| Protocolo de manejo del peso (análisis de pliegues / DU con cuerpo técnico) | En deportes con categorías por peso / combate | En situaciones complejas que requieren cambios del peso corporal | Por requerimientos específicos de situación de entrenamiento o competencia |
| Modelaje de alimentación en entrenamiento / competencia | --- | En situaciones de estudio de modulación de esquema de hidratación, alimentación y/o suplementación para entrenamiento y competencia | --- |

# Valoración Anamnesis Nutricional Deportiva

*Introducción*

La anamnesis nutricional deportiva corresponde al proceso de recopilación de información del entrenamiento y alimentaria nutricional que permitirá estimar los requerimientos de energía y nutrientes críticos, como también valorar el aporte de calorías y nutrientes que contiene la alimentación. A partir del análisis de esta información, se realizan las propuestas para la adaptación en la selección de alimentos y/o suplementos en los atletas. Constituye un abordaje integral donde se incluyen y combinan una serie de procedimientos diagnósticos sobre características socioeconómicas, médicas sicológicas, entre otras, con el propósito de estimar cómo se alimenta cada atleta de manera individualizada y lo más cercano a la realidad posible.

*El problema del sub-reporte en la aplicación de la anamnesis nutricional*

Existe un problema permanente de realizar un sub registro de la alimentación basado en que la información del interlocutor se ve influenciada por la capacidad de memoria o atención prestada en lo diferentes momentos de comida e ingesta, el denominado sub-reporte asociado al recuerdo parcial o a la posible manipulación de la información para responder ingestas de alimentos poco apropiados. Existe evidencia que factores como sexo, edad, IMC, nivel educacional, y algunas enfermedades pueden interferir en la cantidad y calidad de la información que el entrevistado relata. Además, factores vinculados al tiempo de la entrevista, características y habilidades interpersonales del entrevistador, problemas en la descripción del tamaño de las porciones consumidas, o las diferencias en las formas de preparación de los alimentos también pueden influenciar el resultado[24]. **La Tabla 2** muestra un ejemplo de información errónea de ingesta de energía y micronutrientes estimada mediante registro de alimento y recordatorios de 24 h, métodos de valoración y monitoreo que se utilizan en la practica.

**Tabla 2**. Ejemplo de subestimación de la ingesta energética (IE) y porcentaje de sub-reporte (SR) en estudios que utilizan recordatorios de 24 horas y registros de alimentos[24].

| Tipo de Estudio | Subestimación IE (%) | | | Prevalencia SR (%) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nº de Estudios | Mediana | Rango | Nº de Estudios | Mediana | Rango |
| Recordatorio 24 h | 2 | 13.4 | 12.8 - 14.0 | 5 | 31.0 | 21.5 - 67.0 |
| Registro de alimentos estimados | 4 | 12.2 | 7.2 - 20.0 | 7 | 30.0 | 11.9 - 44.0 |
| Registro de alimentos pesados | 5 | 18.0 | 10.4 - 20.2 | 4 | 33.3 | 14.3 - 38.5 |

Sin embargo, existen estrategias que reducen el error implícito en la valoración y monitoreo nutricional, entre las que se señala:

- Utilizar una combinación de métodos cuantitativos y cualitativos (historia dietética, recordatorio 24 horas, frecuencia de consumo).
- Reforzar técnicas y métodos, preguntando acerca de aspectos generales que ayuden al atleta a rellenar con mas detalle todos los alimentos consumidos en un día para reducir el error.
- Utilizar fotos o modelos de alimentos que puedan ayudar al atleta a estimar la ración de alimentos.

## Métodos de registro de la información en la anamnesis para la valoración de la ingesta alimentaria

*Recordatorio de 24 h y frecuencia de consumo*

En el caso de la frecuencia de consumo cómo método para la recolección de datos, debe hacerse mediante una entrevista estructurada y organizada por módulos con el objetivo de determinar el patrón de consumo habitual de alimentos a través de la obtención de información sobre el tipo, frecuencia y cantidad ingerida por vez. Los cuestionarios de frecuencia alimentaria pueden ayudar a determinar, en promedio, la cantidad de un macro o micronutriente específico que consume una persona. También depende en gran medida de la memoria y la capacidad del individuo para estimar la cantidad de un alimento o grupo de

alimentos en particular. Se le da al individuo una lista de alimentos y se le pide que determine con qué frecuencia se consumió cada alimento durante un período específico, que por lo general oscila entre un día y varios meses. Una limitación de los cuestionarios de frecuencia alimentaria es su especificidad para determinadas poblaciones[24]. El recordatorio de 24 horas tiene como objetivo contar con información detallada del consumo de alimentos, suplementos nutricionales y polivitamínicos/minerales de un atleta el día anterior a la entrevista, sobre la base de lo que esté recuerda. Se debe recolectar información respecto a tiempos de comida, hora en que realiza cada tiempo de comida, lugar en que lo realiza, nombre de alimentos y/o preparaciones ingeridas, desglose de ingredientes en caso que corresponda, marca de productos envasados y cantidades ingeridas de cada alimento. Se debe contar con algún material que permita estimar de manera sencilla la ingesta alimentaria del atleta, a través de medidas caseras de uso común o réplicas de alimentos que indiquen masa y volumen, lo cual permite reducir el error en la valoración por sub o sobreestimación de alimentos.

*Registro de 2 días de la semana + 1 día del fin de semana*

Un registro de alimentación consta de todos los alimentos y líquidos consumidos por el atleta en un periodo de tiempo determinado, el registro de tres días es uno de los más utilizados porque permite analizar la variación en la alimentación del atleta en diferentes días de la semana respecto a la planificación del entrenamiento, de este modo se obtiene una cuantificación de la ingesta alimentaria en días de entrenamiento de doble turno, descanso y/o competencias.

*Registro de 7 días*

Este registro conlleva mayor demanda de tiempo para completarlo, pero a su vez puede ofrecer una imagen más completa de la alimentación, cabe señalar que los registros de periodos más extensos no siempre son tan precisos como los registros más concisos. Esto de sebe a que el atleta puede olvidar escribir la información a diario o pueden encontrar una tarea tediosa y redundante. En general cuanta más información se recopile y más detalles se proporcionen, más precisas serán las

conclusiones e intervenciones. Para garantizar una mayor precisión con respecto al tamaño de las porciones y del detalle de todos los alimentos consumidos es importante educar al atleta sobre la creación de un registro dietético y las especificaciones que debe incluir.

*Registro mediante software*

Es muy importante su utilización en la valoración y monitoreo de ingesta de micronutrientes críticos y vitaminas: calcio, hierro, vitamina D. Se debe complementar la información con el análisis integrado de indicadores bioquímicos. Esto permite identificar el impacto de la alimentación y de la carga de entrenamiento en parámetros plasmáticos y en la orina del atleta[24].

## Factores vinculados al entrenamiento que se deben considerar en la anamnesis nutricional deportiva

*Aspectos Generales*

El apoyo nutricional debe ser proactivo (anterior y planificado) a las adaptaciones que se buscan con las cargas de entrenamiento. Los requerimientos nutricionales en el deporte son dinámicos y deben adaptarse a la planificación y objetivos del entrenamiento, considerando la dosis de ejercicio a realizar (tipo/intensidad/duración/frecuencia)[13]. La alimentación debe proporcionar energía suficiente para cubrir los diferentes procesos metabólicos involucrados en las adaptaciones fisiológicas del entrenamiento y la competencia, colaborando también en prevenir las lesiones que puede generar la practica deportiva[19]. La alimentación debe disminuir los factores que producirán fatiga (e.g., hidratación, déficit de energía). Para esto, deben considerarse las características ambientales del lugar y horario donde se desarrollará la practica deportiva. Se debe manejar información que permita organizar la ingesta de energía y nutrientes con la agenda diaria de entrenamientos (timing). Un adecuado balance de energía (ingesta / requerimiento) permitirá mantener la salud y el logro de los objetivos propuestos en la estrategia nutricional. La composición corporal óptima para la disciplina deportiva es un elemento importante, por lo que se

debe periodizar e individualizar la estrategia nutricional. Este manejo debe velar por preservar la salud del atleta, evitando practicas de muy baja disponibilidad de energía y/o que generen elevados niveles de stress en la persona[18]. Se debe aconsejar sobre el uso de suplementos a fin de solo utilizar cuando son un real aporte a las adaptaciones biológicas que se buscan, considerando un análisis de costo beneficios y los riesgos de contaminación, adulteración y consumo de sustancias dopantes que subyace su uso[13].

*Actividades que realiza el nutricionista en la aplicación de la anamnesis nutricional deportiva*

**Anamnesis nutricional individual:** cuantificación de ingesta y gasto energético a partir de tareas propias de la carga de trabajo (período de entrenamiento, Nº de sesiones, horarios, duración, intensidad, tipo de entrenamiento, entre otros). Valoración de la composición corporal a través de cineantropometría. Realizar diagnóstico nutricional integrando los parámetros bioquímicos a los dietarios y antropométricos. Determinar objetivos nutricionales

**Estimación de necesidades nutricionales:** cálculo de necesidades de energía, macronutrientes y líquidos. Prescripción de alimentación y plan nutricional individual construida en base a grupo etario, necesidades específicas del deporte, etapa de la periodización del entrenamiento, objetivos de competencia, entre otros. Debe contener pauta de alimentación diaria, esquema de suplementación, planificación de hidratación, información general.

**Periodización de actividades de monitoreo de parámetros nutricionales:** planificación de monitoreo de composición corporal, peso, hidratación, suplementos, plan alimentario, entre otros.
**En monitoreo inter/transdisciplinario:** entrega de informes de diagnóstico alimentario nutricional (alimentación, hidratación, suplementación) y de composición corporal, reportes sobre evolución de atletas. Propuestas acorde a fortalezas y debilidades encontradas en las valoraciones y en le monitoreo de atletas.

*Materiales necesarios*

- Balanza con precisión de 100 g.
- Tallímetro.
- Kit antropométrico.
- Cinta antropométrica de acero.
- Adipómetro.
- Antropómetro de calibres pequeños (inferiores a 20 cm).
- Antropómetro de calibres grandes (hasta 55 cm).
- Segmómetro.
- Escuadra para estatura.
- 1 set básico de medidas de alimentos: tazas, platos, vasos, jarros de diferentes tamaños.
- Computador con acceso a internet. Software básico: office

## Valoración Antropometría

*Introducción*[17]

La Antropometría es la ciencia que estudia las medidas del cuerpo humano, con el fin de establecer diferencias o semejanzas entre grupos de poblaciones, tanto geográfica como de alimentación o desempeño físico. Esta herramienta de valoración ha pasado por múltiples formas de ser aplicada, por lo que la estandarización ha sido un problema. Actualmente múltiples agrupaciones se han enfocado en generar protocolos de aplicación que han permitido el desarrollo de parámetros comparativos en todas sus áreas de aplicabilidad, siendo la herramienta más accesible y menos invasiva a la hora de abordar al sujeto. Del punto de vista del alto rendimiento, en la actualidad es utilizada como herramienta de valoración inicial y seguimiento al atleta, aportando información acerca de factores como la condición al ingreso, progreso dentro de su deporte, control de desarrollo dentro del ciclo vital, desequilibrios entre los componentes de la composición corporal, para así luego generar estrategias nutricionales de intervención acorde a la situación que se problematice. Por otro lado, esta herramienta entrega un perfil del atleta que puede ser comparado con perfiles de atletas de

nivel internacional (ver *Profiling y Benchmarking* en **Capítulo 1**) y evidenciar niveles de diferencia y posibles falencias o potencias relacionadas no solo a alimentación, sino que también al tipo de entrenamiento, temporalidad, frecuencia y múltiples variables que interfieren en la antropometría del mismo. Por esto, es de gran importancia el manejo inter/transdisciplinario (psicólogo, kinesiólogo, biomecánico, fisiólogo, médico) en conjunto con cuerpo técnico, atleta y su ambiente social. Esto, porque para lograr el éxito de alguna intervención se requiere de la colaboración de todo el ambiente que rodea al atleta. En el Área de Nutrición Deportiva, la herramienta antropométrica acompaña al atleta en todo su desarrollo deportivo. Se realiza una primera valoración al momento del ingreso y luego se monitorea relacionados acorde a los ciclos de entrenamientos, periodos competitivos y valoraciones extras determinadas por el cuerpo técnico, y según lo requiera el atleta.

## Métodos de Valoración

Existen múltiples técnicas desarrolladas a lo largo de la historia humana para valorar la composición corporal. En el último tiempo ha ganado gran espacio la utilización de tecnología para aproximarse a la determinación de los componentes del individuo. Desde un punto de vista nutricional, cada tejido y organización en sistemas tienen diferente metabolismo y con ello fuentes de alimentos. Según la cantidad que se mida de cada uno de esos tejidos, ese organismo tendrá un requerimiento determinado. Aproximarse de la forma más acertada a estos números se ha convertido en un desafío. Existen múltiples mecanismos que permiten de diferentes formas esta aproximación (directos, indirectos y doblemente indirectos). La única forma de tener acceso al valor real que compone la estructura sería midiendo cada tejido *in vivo* y separándolo. Debido a lo imposible de aplicar esta herramienta se desarrollan técnicas indirectas que mediante aproximaciones de densidades o fórmulas se aproximan el valor real. Importante a la hora de elegir un método, es utilizar el mismo como herramienta de monitoreo ya que no es posible comparar un método con otro.

*Métodos Indirectos*

La pletismógrafía consiste en medir el desplazamiento de aire dentro de una cámara cerrada. Este método es de baja utilización y se suscribe fundamentalmente a la investigación por lo costoso del instrumental. La imagenología es otra herramienta utilizada para determinar estos valores, así es como la tomografía axial computarizada o resonancia nuclear magnética, que en sus orígenes fue evidenciar estructura, con el tiempo ha logrado llegar a consensos para determinación de % de tejidos involucrados en la estructura valorada. La ecografía ha tomado gran importancia en el último tiempo por lo accesible y poco invasiva que se ha vuelto, poniéndose al alcance de la de mano del profesional y al alcance del tejido a medir del atleta.

*Métodos Doblemente Indirectos*

La bioimpedanciometría es una método que, por medio de flujos de corriente y aproximación de densidades de tejidos, divide al cuerpo en 2 compartimentos (masa grasa y masa libre de grasa). Es muy utilizado en la población general.

*Antropometría*

Es un método que, a partir de la determinación de puntos de referencia, permite construir coordenadas para medir diámetros, pliegues y perímetros. La información que es recopilada, se ingresa a una planilla y permite diversas interpretaciones a partir de los números obtenidos y del protocolo de análisis considerado.

*Introducción a la técnica*

En la valoración de la composición corporal a través de la antropometría se utilizarán las siguientes medidas:

**Tabla 3**. Medidas utilizadas en el protocolo de antropometría.

| Medidas Básicas | Medidas Específicas | | |
|---|---|---|---|
| | Dimensiones | Perímetros | Pliegues |
| Masa corporal en kg | Húmero | Braquial relajado | Bicipital |
| Estatura en cm en bipedestación | Biestiloide | Braquial contraído | Subescapular |
| Estatura en sedestación | Fémur | Muslo medio | Cresta iliaca |
| Envergadura | --- | Tórax | Supra espinal |
| Edad en años | --- | --- | Abdominal |
| Sexo | --- | --- | Muslo |
| --- | --- | --- | Pierna |

*Necesidades para el registro de datos*

Establecer una proforma; contar con un anotador (debe contar con la capacidad de localizar el punto a medir, asegurar la secuencia correcta de puntos de medición, repetir los valores medidos por antropometrista en el momento de anotar (se corrigen errores)); realizar primera medición en el orden correcto; realizar la segunda medición en mismo orden; realizar la tercera en puntos que se tenga duda, diferencia > 5% entre las 2 primeras.

*Material antropométrico*

Tallímetro, báscula, cinta antropométrica, plicómetro, paquímetro, cajón antropométrico.
*Medidor de envergadura.

*Perfil antropométrico*

**Perfil restringido:** permite valorar somatotipo, proporcionalidad, estimación de la composición corporal, índices de áreas de superficie, índices ponderales, ratio cintura/cadera, patrones de distribución de grasa corporal y perímetros corregidos en función de los pliegues cutáneos, extrapolar datos y comparar en poblaciones de interés.

**Perfil completo.**
**Perfil propuesto.**

*Periodicidad de Monitoreo*

La periodicidad se establece en relación a los objetivos propuestos en la construcción de la valoración.

*Protocolo de valoración*

**Consideraciones previas:** se debe informar procedimiento a realizar a atleta; higiene de manos e instrumento para cada medición; privacidad del procedimiento a temperatura confortable; espacio con dimensiones adecuadas; atleta debe utilizar la mínima vestimenta posible y abrigo inmediato post valoración; considerar mediciones que no se pueden realizar por lesiones o faltas de segmentos, es posible utilizar el contralateral; según deporte a practicar existirán asimetrías o mediciones de mayor relevancia; no se debe efectuar post-entrenamiento, competencia o medidas de recuperación temprana (sauna), serían variables confundentes; uñas cortas del antropometrista.

*Generalidades de la Técnica*

**Sujeto en posición antropométrica:** cuerpo erguido con cabeza y cuello erectos, mirada al frente, brazos extendidos hacia abajo a los costados del cuerpo y palmas paralelas al cuerpo con pulgares apuntando hacia adelante. Piernas extendidas y pies separados a una distancia confortable (no mayor que caderas). Marcaje de sujeto en lado derecho independiente de la dominancia, se utilizará contralateral en caso de lesiones o falta de segmento. Tomar la medida mínimo 2 veces y una

tercera vez en caso de existir una diferencia > 5% entre las 2 primeras. Si se utilizan 2 medidas, utilizar la media. Si se utilizan 3 medidas, utilizar mediana.

*Puntos antropométricos de referencia no marcados*

- Dactylion: punto mas distal del miembro superior, correspondiente a extremo distal de dedo medio de la mano.
- Línea axilar media: línea vertical situada en el centro de la axila. Se facilita visualización al abducir el brazo en 90°.
- Omphalion: ombligo.
- Orbitale: punto en margen inferior óseo de la cuenca del ojo.
- Tragion: punto situado en muesca superior del trago de la oreja.
- Plano de Frankfort: posición de la cabeza, que al unir punto Orbitale con Tragion, se encuentra paralela al suelo.
- Vertex: punto más superior del cráneo.
- Pliegue inguinal: pliegue que se forma en cara anterior del cuerpo en la zona de unión entre tronco y extremidad inferior en sujeto sentado.
- Punto inguinal: proyección de la línea de la patela a proximal, intersectando pliegue inguinal.

*Puntos antropométricos de referencia marcados*

Referencias para localizar el punto de medición antropométrica. Se logra determinar la ubicación palpando con dedos en 90° con la superficie corporal de sujeto. Especial énfasis en mantener el cuidado necesario para no desplazar el punto por tejido cutáneo ni subcutáneo, se debe cuidar la proyección al retirar el dedo y realizar la marca. Se marca con lápiz dermográfico. Si se utiliza cinta antropométrica las marcas van por el borde superior.

**Tabla 4**. Puntos que deben marcarse como referencia en la valoración de Antropometría.

| Marcas de Referencia Antropometría |
|---|
| Acromial |
| Radial |
| Acromio-radial medio |
| Punto del pliegue del tríceps |
| Punto del pliegue del bíceps |
| Subescapular |
| Punto del pliegue subescapular |
| Iliocrestídio |
| Punto del pliegue de la cresta iliaca |
| Ilioespinal |
| Punto del pliegue supraespinal |
| Punto del pliegue abdominal |
| Punto del pliegue de la pierna |
| Patelar |
| Punto del pliegue del muslo |

*Técnica general Medidas Pliegues*

- Asegurar que plicómetro mide de manera exacta corroborando una medida conocida.
- Punto del pliegue localizado cuidadosamente, empleando la marca correcta.
- El pliegue se toma aplicando pinza con dedo pulgar e índice de la mano izquierda a un lado del lugar marcado y perpendicular a la orientación del pliegue.
- Se debe tracción para tomar el doble pliegue de piel.
- Cuidado al tomar pliegue para no incluir tejido muscular.
- Si hay dificultad, pedir a sujeto que relaje y contraiga músculo.
- Las ramas del plicómetro deben estar a 1 cm de los dedos que tomaron el pliegue
- Plicómetro se aplica en 90° con la superficie.
- Lectura se realiza 2 segundos luego de aplicada la presión del plicómetro.
- Retirar plicómetro y soltar pliegue.

*Medición de los Pliegues*

**Tríceps:** Se toma en el punto marcado previamente perpendicular a eje longitudinal del pliegue.

**Subescapular:** Se toma de forma oblicua hacia abajo y afuera (45°) y se sigue método descrito previamente.

**Bíceps:** Medición del pliegue tomada en paralelo al eje longitudinal del brazo en el punto del pliegue bicipital.

**Cresta iliaca:** Tomado de forma horizontal en el punto del pliegue siguiendo las líneas naturales de la piel. Podría ser difícil de medir en personas con mayor peso

**Supraespinal:** Tomada oblicua hacia abajo y a medial en el punto del pliegue supraespinal.

**Abdominal:** Tomada verticalmente en el punto abdominal, no tomar desde dentro del ombligo las medidas

**Muslo:** Tomada en paralelo al eje longitudinal del muslo, sujeto sentado al borde del cajón, rodilla derecha extendida, musculatura relajada. Si se hace complicado tomar el pliegue se pide ayuda al sujeto sosteniendo con sus manos los isquiotibiales elevándolos.

**Pierna:** Tomada vertical en el punto del pliegue de la pierna. Pierna sobre cajón con rodilla y cadera en 90°.

*Medición de los Perímetros*

Se utiliza cinta antropométrica y cajón.

**Posicionar la cinta:** sostener caja en la palma de la mano derecha. Caja no debe ser soltada durante el proceso de posicionamiento de la cinta. Extremo de la cinta debe ser sujetado entre dedo pulgar e índice de

mano izquierda. Situar cinta horizontalmente frente a la superficie de cuerpo a medir y pasar cinta con mano izquierda por perímetro de región. Se cierra el perímetro sosteniendo cinta firme, pero sin modificar superficie. Tener presente que cinta se debe mantener horizontal en todo momento. Evitar errores de inclinación.

**Brazo relajado:** A nivel de punto acromial medio y perpendicular al eje longitudinal del brazo.

**Brazo contraído:** Punto más alto del bíceps en su eje longitudinal, medir de forma perpendicular. Solicitar que contraiga bíceps y se toma la medida en el punto mas alto.

**Cintura:** Se mide en el punto mas estrecho, de los contrario, bajo la 10º costilla.

**Cadera:** A nivel glúteo en su prominencia máxima.

**Muslo medio:** A nivel del punto medio del muslo.

**Pierna:** A nivel del punto de mayor perímetro.

*Medición de los Diámetros*

**Técnica general:** se utiliza paquímetro que descansa en región dorsal de manos y pulgares realizan el movimiento. Dedos medios libres para palpar marcas óseas y ubicar localización a medir.

**Húmero:** distancia lineal entre la parte mas lateral y mas medial del húmero. Se mide en flexión de 90° con medidor desde frente.
Biestiloide: distancia lineal entre la región mas lateral y mas medial de la muñeca.

**Fémur:** distancia lineal entre cóndilos. Medidor de frente.

*Algunos tipos de análisis de la información obtenida (consenso Nutrición Deportiva UCAD 2021)*

**Evolución del tejido adiposo por sumatoria de pliegues:** se analiza la variación de sumatoria de pliegues y se obtiene un análisis general de la tendencia del tejido adiposo en los diferentes segmentos.

**Evolución de la masa muscular por segmentos:** se analizan los perímetros corregidos (perímetros musculares) y se puede inferir en qué segmentos se produce un incremento o reducción de la masa muscular. Esto permite conocer la distribución de la evolución de la masa muscular.

**Valoración de lado adiposidad y masa muscular en segmentos derecho e izquierdo:** se realizan las mediciones de perímetros y pliegues en los segmentos del lado derecho e izquierdo. Luego se comparan bilateralmente los resultados y con eso se puede determinar asimetrías musculares propias del deporte, producidas por una lesión, al incorporar una metodología nueva de entrenamiento, pre y post cirugías, entre otras.

**Valoración de 1/3 inferior de muslo:** esta medición se utiliza para verificar la evolución del perímetro muscular en el 1/3 distal del muslo. La valoración se realiza como diagnóstico y evolución peri-cirugías de rodilla, post lesión en el proceso de recuperación, en deportes asimétricos en el trabajo de piernas (e.g., Esgrima), entre otros.

**Valoración de diámetro bi-deltoídeo:** esta valoración se realiza para determinar los cambios específicos del volumen muscular en los deltoides. Es importante, por ejemplo, en deportes donde se utilizan los brazos en proyección tales como el boxeo y el vóleibol.

## Valoración de Calorimetría Indirecta

*Introducción*

La cantidad de energía que utiliza un organismo para funcionar diariamente se denomina gasto energético total (GET). Este, a su vez, es la suma del gasto metabólico basal (GMB), la termogénesis inducida por

alimentos (TIA) y el gasto energético por actividad física (GAF)[25]. Debido a las dificultades metodológicas para medir el gasto metabólico basal, generalmente se realizan mediciones en reposo y se valora el gasto metabólico de reposo (GMR). La calorimetría indirecta permite valorar el calor generado de forma indirecta según los subproductos del metabolismo de sustratos energéticos[25,26].

*Indicaciones*

Indicada en atletas en quienes se desea conocer con mayor precisión el gasto energético de reposo y/o el porcentaje de utilización de macronutrientes para calcular el gasto energético total.

*Condiciones generales*

*Atleta*

- Todo atleta que se realiza un gasto metabólico de reposo debe tener una valoración de su composición corporal reciente (máximo 1 semana). Así mismo, se sugiere que la alimentación del día anterior sea similar a la que se ha llevado durante el último tiempo.
- En caso de atletas con viaje reciente, se sugiere monitorear el gasto metabólico de reposo 10 días después, en los casos de viajes con más de 6 husos horarios.
- No debe estar cursando cuadro infeccioso agudo que incluya compromiso general y/o fiebre. Valorar después de 5 días del último día de fiebre.
- El atleta debe contar con un sueño adecuado la noche anterior a la medición, evitando desvelarse.
- Debe cumplir al menos 6 horas de ayuno para sólidos y líquidos. El ayuno no debe exceder las 16 horas (idealmente no más de 12 horas).
- No se deben utilizar suplementos estimulantes o fármacos simpaticomiméticos las 24 horas previas (e.g., descongestionantes como pseudoefedrina, guaraná, entre otros). Tampoco se debe consumir cafeína 12 horas antes (idealmente 24) ni tabaco 24

horas antes de la valoración.
- Se sugiere no realizar actividades de alta intensidad 24 horas antes. En su defecto, no realizar actividad física al menos 4 horas antes de realizar la prueba (traslado en bicicleta, caminata, trote, entre otros).

*Espacio físico y ambiente*

- Camilla cómoda con almohada y sabanilla desechable.
- Ambiente aclimatado (22-25°C).
- El lugar de valoración de contar con privacidad, ser un lugar silencioso y con baja luminosidad.
- En la sala de valoración sólo debe estar el atleta.

*Personal*

Médico, nutricionista o fisiólogo.

*Calibración y mantención del equipo*

- Para cada medición se debe realizar la calibración del equipo para gasto metabólico de reposo.
- Realizar antes de cada prueba calibración del sensor de prueba
- La limpieza y desinfección de los componentes como turbina, mascarillas, entre otros, será acorde a la normativa del fabricante.

*Condiciones al inicio de la prueba*

- Verificar que se hayan cumplido condiciones de ayuno y realizar toma de temperatura.
- Explicación del procedimiento.
- Evaluar calidad de sueño de la noche anterior: se utilizará una versión modificada del Sleep Quality Scale (SQS), donde se puntuará respecto a la noche anterior.
- Registrar antecedentes del período de entrenamiento: registrar período de entrenamiento, registrar hora/tipo e intensidad ultimo

entrenamiento del día anterior.
- Consignar en ficha médica-nutricional si ingiere regularmente algún fármaco de uso crónico que pueda alterar el metabolismo basal.

*Técnica y condiciones de la medición*

- Medir solo 1 vez al día a primera hora de la mañana. En condiciones excepcionales se podrá medir hasta 2 atletas.
- Control de frecuencia cardiaca con oxímetro o pulsómetro.
  Tras explicar la prueba al atletas, se sugiere colocar mascarilla y dejar 15 minutos de descanso antes de iniciar la prueba sobre una camilla en posición decúbito supino. Esto permitirá que el atleta se adapte a la mascarilla, disminuyendo su influencia sobre los valores del GMR.
- Mientras el atleta descansa, se realiza calibración del equipo para metabolismo de reposo. Posteriormente, se realiza la conexión al equipo para iniciar medición.
- El atletas no debe utilizar su celular, leer ni dormir durante la prueba, y indicándole que iniciará la prueba.
- La medición debe ser al menos de 30 minutos, descartando los primeros 5 minutos de la valoración. Si por alguna razón se comenzó a medir inmediatamente, medir al menos 45 min y descartar los primeros 15 min de la medición.

*Condiciones de validez de la prueba*

- La prueba requiere lograr estado estacionario: período de 5 min durante el intercambio gaseoso donde el $VO_2$ y el $VCO_2$ varían menos del 10%[26], aunque algunos autores sugieren <5%[27].
- Generalmente se logra dentro de 30 minutos.
- Factores técnicos que disminuyen la precisión de la medición[27]: no realizar el período de descanso previo de 15-20 minutos; no eliminar los primeros 5 minutos de la medición.
- Factores de validez de la prueba: coeficiente de variación <10% en $O_2$; <10% en $CO_2$ y <5% en la tasa de intercambio respiratorio (RER).

- Valores de la tasa de intercambio respiratorio (RER): el valor de RER debe estar dentro de rangos fisiológicos (de 0.67 a 1.2).

## Valoraciones Bioquímicas y Hematológicas de Importancia Nutricional en el Deporte

Múltiples indicadores bioquímicos y hematológicos pueden ser usados para determinar el estado de salud del atleta, o bien, un balance o desbalance entre el entrenamiento y la recuperación. Sin embargo, su análisis e interpretación debe considerar el contexto individual como deportivo del atleta, y ser conscientes que los rangos de referencia para atletas no están bien definidos debido en parte a una gran varianza interindividual. Así mismo, un único biomarcador entregará información limitada, por lo que es necesario considerar uno o más de éstos para una correcta toma de decisiones. Al respecto, se sugiere tener valores promedio basales de cada atleta a fin de interpretar los hallazgos asociados a la carga de entrenamiento en el tiempo[28]. No existe consenso de la frecuencia en la que se deben controlar estos parámetros, aun cuando se pueden considerar algunas directrices[29,30]:

- Valorar perfil bioquímico y hematológico del atleta al ingreso de la entidad deportiva.
- Monitorear al inicio y al final de un período de entrenamiento intenso (e.g., pre-temporada o período de entrenamiento general).
- Monitorear antes y después de un microciclo específico o semana con carga elevada de entrenamiento, una prueba de rendimiento deportivo, de una sesión de ejercicio posterior a la recuperación de una lesión o de algún cambio en la planificación del entrenamiento.
- Monitorear antes y múltiples veces después de una competencia fundamental o lesión.
- Monitorear valores basales individuales que se pueden obtener fuera de temporada o en el período de descanso donde el atleta no está sometido a cargas de entrenamiento y se encuentra descansado.

*Estado de Hidratación*

Es el nutriente más importante al ser más abundante y necesario para todo proceso biológico. El balance de agua en el organismo está regulado por el sistema endocrino a nivel del Sistema Nervioso Central (SNC) que censa osmolaridad y/o volumen plasmático y, según esto libera señales hormonales de vasopresina (hormona antidiurética) que regula la reabsorción de agua a nivel renal y sensación de sed a nivel central. Así, en momentos de alta osmolaridad o bajo volumen plasmático, el SNC desarrolla respuestas para disminuir la osmolaridad y aumentar el volumen circulante, aumentado el aporte de agua por reabsorción renal y por aumento de la ingesta[28]. En las adaptaciones a entrenamientos deportivos, el organismo está constantemente sometido a variaciones del volumen plasmático y de la osmolaridad sanguínea ya que existe una gran demanda de agua que es utilizada tanto para oxidar sustrato energético y desarrollar la actividad deseada, como para regulación térmica entre medio interno y externo (gran parte de la energía producida se trasforma en energía calórica). Además, durante la actividad física por lo general (depende del deporte) no se ingiere la cantidad de líquido que está siendo utilizado, por lo que se desarrolla un desequilibrio caracterizado por un estado circulatorio hipertónico hipovolémico. Si el atleta no repone los líquidos perdidos en la práctica deportiva, entra en un estado de deshidratación que disminuye su rendimiento, no logra desarrollar objetivos del periodo en el que se encuentra y repercute negativamente, principalmente en el sistema nefro-urinario, lo que a la larga puede desarrollar daño de por vida. Los biomarcadores utilizados para la determinación del estado de hidratación provienen del plasma, de la orina y del sudor, los cuales serán detallados en el apartado de Valoración de la Hidratación.

*Estado Nutricional de Hidratos de Carbono*

*Glucosa en sangre*

Los niveles de glucosa plasmática tienden a mantenerse estables en el tiempo debido a finos procesos de mantención de la glicemia que están comandados por el sistema endocrino donde el órgano efector clave es

el hígado. De fundamental importancia es mantener esta estabilidad en sangre, ya que asegura las demandas energéticas del organismo. Existen sistemas con afinidad por un tipo en particular de sustrato energético y el cerebro lo tiene por los hidratas de carbono, así como la musculatura a la hora de realizar ejercicio físico y aun más si este es de gran intensidad y prolongado. En ciertas situaciones, los atletas cursan con valores de glicemia por debajo de lo habitual debido a que la disponibilidad de glucosa durante el ejercicio dependen del: (i) estado de almacenamiento energético a nivel muscular (glucosa que se utiliza de inmediato), (ii) reserva hepática (segunda fuente a ser reclutada), (iii) ingesta de alimentos (mientras estos son procesados a nivel digestivo para dirigirse a sitios de alta demanda energética) y (iv) la intensidad/duración del ejercicio (determinantes de la demanda energética). Al respecto, ante entrenamientos de alta intensidad donde el uso de glucosa como fuente energética es casi exclusiva durante la actividad muscular, la probabilidad de cursar con hipoglicemia es mayor, por tanto, la ingesta de carbohidratos previo y durante el ejercicio es fundamental.

Se recomienda monitorear la glicemia en las siguientes situaciones:

- Atletas que realizan dietas restrictivas para manejo de peso.
- Atletas con historia de hipoglicemia.
- Atletas que están en períodos de entrenamiento intenso.
- Atletas con sospecha de deficiencia relativa de energía.
- Atletas con síndrome de sobre-entrenamiento.

Existen valores de corte reconocidos mundialmente para determinar cuadros de baja, normal y alta glucosa circulante (**Tabla 4**).

**Tabla 4**. Valores de referencia para glicemia en sangre[31].

| Condición | Ambos sexos |
|---|---|
| Hipoglicemia | ≤ 69 mg/dL |
| Normoglicemia | 70 - 99 mg/dL |
| Hiperglicemia | ≥ 100 mg/dL |

Actualmente se encuentra en estudio la utilidad del monitoreo continuo de la glicemia ya que mediante este recurso es posible determinar la utilización del sustrato energético en las diferentes actividades del atleta.

*Estado Nutricional de Ácidos Grasos*

Es la primera fuente de energía que se utiliza en deportes de endurance o cuando los carbohidratos y sus reservas están bajas en el organismo. La utilización de ácidos grasos durante la práctica deportiva se puede expresar en el perfil lipídico que consta de:

- Colesterol total.
- LDL.
- HDL.
- Triglicéridos.

Bajos niveles de colesterol total y triglicéridos hablan del tipo de deporte practicado, de las bajas reservas energéticas de grasas o hidratos de carbono. En este caso no se están cubriendo los requerimientos energéticos del atleta. Por otro lado, valores elevados de estos parámetros hablan de una alimentación excesiva de este macronutriente. Existe además la medición de EPA y DHA que ayudan en la recuperación, en la optimización de la utilización de recursos energéticos y la posible inflamación que se desarrolla post entrenamiento con el daño controlado asociado a las cargas.

*Estado Nutricional de Proteínas*

La ingesta proteica recomendada para atletas fluctúa entre 1.3 – 2.0 g/kg de peso /día lo cual permite una adecuada síntesis proteica, permite una adecuada adaptación al entrenamiento y previene la pérdida de masa muscular. En casos de deficiencia crónica de proteínas o energéticas, se produce un aumento en la oxidación de proteínas endógenas para obtener aminoácidos que son esenciales para la mantención de los procesos biológicos o como tercera fuente energética para permitir el

funcionamiento del organismo. Dentro de los indicadores medibles que se pueden alterar se encuentran:

- Proteínas totales.
- Albúmina.
- Nitrógeno ureico (BUN).
- Urea.

Un déficit de proteínas circulantes se podría evidenciar por un patrón de bajos niveles de proteínas totales y albúmina (biomarcador con mayor sensibilidad), acompañado además de nitrógeno ureico elevado, sugiriendo que en la alimentación no se están cubriendo los requerimientos demandados por el organismo sometido a la actividad del atleta. Si existe un déficit de proteínas circulantes acompañado de bajos niveles de urea y/o nitrógeno ureico (productos metabólicos de la degradación de proteínas) se puede hablar de daños a nivel hepático, baja ingesta proteica, y/o estado orgánico hipercatabólico. Un aumento de ingesta proteica se podría evidenciar por elevación del nitrógeno ureico y urea ya que estará siendo altamente utilizado como sustrato. No solo estímulos deportivos acompañados de una dieta rica en proteínas pueden generar esta elevación, sino también cuadros patológicos como episodios febriles, infecciones, utilización de glucocorticoides, estado de hidratación, fallas renal o producción hepática.
Se sugiere controlar estos indicadores en:

- Atletas con una baja ingesta crónica de proteínas.
- Atletas con sospecha de deficiencia relativa de energía.
- Atletas con sospecha o confirmación de trastorno de la conducta alimentaria.

*Estado Nutricional de Micronutrientes*

*Vitamina D*

La vitamina D se relaciona con el metabolismo óseo, función muscular, función inmune y síntesis proteica. Se puede sospechar una deficiencia

de esta vitamina en atletas con historia de fractura por estrés, lesiones óseo/articulares, enfermedades recurrentes, dolor o debilidad muscular, entrenamiento indoor recurrente. La principal fuente de vitamina D es el sol (80%), por lo que el impacto de la dieta por sí mismo es pequeño. En cuanto al diagnóstico de deficiencia de vitamina D, se aconseja monitorear los niveles plasmáticos de 25-hidroxi vitamina D en forma rutinaria y al menos 2 veces al año, según temporada de entrenamiento y estacionalidad (finales del verano-principios de otoño y finales del invierno). La suplementación con vitamina D solo se debe realizar en presencia de un diagnóstico de deficiencia. Si bien hay controversia en los puntos de cortes establecidos, a continuación, se resumen los valores más utilizados (**Tabla 6**):

**Tabla 6**. Valores de referencia para Vitamina D.

| Clasificación | Ambos sexos |
|---|---|
| Suficiencia | ≥30 ng/mL |
| Insuficiencia | 20 - 29 ng/mL |
| Déficit moderado | 10 - 19 ng/mL |
| Déficit severo | < 10 ng/mL |

*Vitamina B12*

Se caracteriza por regulación energética modelando la degradación de hidratos de carbono, grasas y proteínas. Se debe monitorear constantemente en conjunto con los otros biomarcadores.

*Hierro*

La deficiencia de hierro es una de las más prevalentes a nivel mundial. Se estima que en USA entre el 3-5% de la población general presenta déficit de hierro, siendo más prevalente en mujeres (11-13%, mujeres; <1% hombres)[32]. La población de atletas presenta una mayor deficiencia que la población general, las mujeres atletas tienen una prevalencia entre el 15-35% y los hombres entre un 5-15%[33], aunque es esto también es dependiente del deporte o disciplina deportiva. Los deportes

de largo aliento, estéticos y aquellos que compiten por categoría de peso son los que más deficiencia pueden expresar. Si analizamos una temporada deportiva, existen múltiples situaciones donde es posible encontrar mayor deficiencia, siendo en estos períodos necesario realizar un monitoreo dirigido: (i) entrenamiento en altura, (ii) semanas de entrenamiento muy intenso, (iii) consumo de nutrientes de una dieta inadecuada. Los exámenes utilizados para la determinación del estado nutricional de hierro son:

- Hematocrito.
- Hemoglobina.
- VCM y HCM.
- Ferritina.

A continuación, se presentan los puntos de corte de hemoglobina por sexo y ferritina (**Tabla 7**):

**Tabla 7**. Hemoglobina y ferritina.

| | Hemoglobina | | Ferritina | |
|---|---|---|---|---|
| **Clasificación** | **Mujeres** | **Hombres** | **Clasificación** | **Ambos sexos** |
| Normal | 12 - 16 mg/dL | 13 - 18mg/dL | Normal | 35 - > 100 ng/mL |
| Anemia manifiesta | < 12 mg/dL | < 13 mg/dL | Insuficiencia de hierro | 16 - 35 ng/mL |
| | | | Deficiencia de hierro | < 15 ng/mL |

*Estado de Salud Muscular*

*Testosterona*

La testosterona es una hormona anabólica, y dentro de sus funciones se encuentran: estimular la síntesis de proteínas, mantener la salud ósea, estimular la eritropoyesis aumentando en número de glóbulos rojos, entre otras. En hombres, su rol en el aumento de la masa muscular es mucho mayor que en mujeres, por lo que mantener adecuados niveles a lo largo de un macrociclo es fundamental. Así, niveles crónicamente

bajos son indicativos de que el volumen e intensidad del entrenamiento exceden la tolerancia del organismo, reduciendo su potencial anabólico. Asimismo, se ha observado que, en cuadros de deficiencia relativa de energía crónica, los niveles de testosterona pueden reducirse. En deportes como el remo o estéticos pueden encontrarse más frecuentemente niveles de testosterona crónicamente bajos. En este caso, los esfuerzos por aumentar la masa muscular se verán entorpecidos si no se corrige esta situación.

*Cortisol*

El cortisol es una hormona catabólica, y dentro de sus funciones destaca: estimular la proteólisis, inhibir la síntesis proteica, estimular la glicogenólisis, y producir inmunosupresión. Niveles crónicamente elevados se pueden encontrar ante cargas elevadas de entrenamiento sin adecuado ajuste de éstas, lo que trae como consecuencia una empeorada capacidad de recuperación (e.g., muscular, glicógeno), menor síntesis proteica y de masa muscular, mayor riesgo de desarrollar cuadros infecciosos. Si no hay un adecuado ajuste de cargas, se puede producir un síndrome de sobre-entrenamiento. Desde el punto de vista nutricional, las estrategias para optimizar la recuperación y la síntesis proteica no van a ser efectivas si no se corrigen primero los niveles hormonales.

## Valoración de la Hidratación

*Hidratación del Atleta*

Durante el ejercicio, el calor metabólico producido durante el trabajo muscular es disipado principalmente mediante el mecanismo de evaporación. Ante climas adversos (húmedos y cálidos) y/o una hidratación inadecuada, las pérdidas por sudoración pueden superar la ingesta, produciéndose una deshidratación y un consecuente estado de hipohidratación[34]. En lo que respecta a condiciones ambientales, se postula que se deben tener mayores cuidados cuando la temperatura

ambiental y/o la humedad relativa son elevadas (sobre 27°C y 60%, respectivamente)[35]. El sudor liberado para disipar calor contiene además de agua, electrolitos, principalmente sodio y en menor cantidad potasio, magnesio y calcio, los que deben ser considerados al momento de reponer el balance hidroelectrolítico. Se debe considerar la ingesta de sodio sobre todo en atletas con tasas de sudoración elevadas (> 1.2 L/h), en "sudadores salados" o en ejercicios que excedan las 2 horas de duración[34]. Dependiendo de la disciplina deportiva, duración del entrenamiento o competencia y/o factores climáticos, el mantener un estado de hidratación puede ser más o menos relevante. En general, para la mayoría de los atletas se recomienda mantener un estado de euhidratación para preservar la homeostasis, la función corporal óptima, el rendimiento y la percepción de bienestar[34].

*Estado de hidratación y rendimiento deportivo*

La pérdida de agua corporal mediante sudoración provoca la reducción del volumen plasmático, produciéndose una disminución de la presión arterial y con ello una disminución del flujo sanguíneo hacia la piel y músculos. Toda esta cascada conlleva a un aumento de la temperatura corporal interna debido a dificultad para disipar calor en la piel, un aumento de la frecuencia cardiaca[35] para mantener el gasto cardiaco, además de una mayor percepción de esfuerzo, aumento en la utilización del glucógeno y una alteración de la función metabólica y del sistema nervioso central[34]. Un estado de deshidratación además se asocia a mayor desarrollo de trastornos gastrointestinales tales como flatulencia, náuseas, calambres, entre otros, pudiendo afectar también de esta manera el rendimiento deportivo[35]. Se ha establecido que una reducción de peso corporal mayor a un 2% durante la práctica deportiva puede impactar el rendimiento aeróbico, sobre todo en ambientes calurosos y húmedos[36]. También que reducciones entre un 3- 5% podrían disminuir el rendimiento de tipo anaeróbico o de alta intensidad y habilidades técnicas específicas del deporte[34]. Por otro lado, perdidas entre un 3-4% podrían afectar la cognición, la habilidad técnica y el rendimiento físico en deportes de equipo, sobre todo si se acompaña de estrés por calor[36].

*Objetivos de valorar el estado de hidratación en el atleta*

- Monitorear estados de hidratación y posible impacto en el rendimiento deportivo.
- Establecer adecuados esquemas de hidratación para el entrenamiento y competencia ajustados a diferentes situaciones deportivas.
- Relacionar el estado de hidratación con otros parámetros bioquímicos.
- Mantener un adecuado estado de salud.

## Métodos para Valorar el Estado de Hidratación

Debido a la dificultad que tiene el valorar un estado de hidratación absoluto de manera directa, generalmente se utilizan diversos indicadores indirectos para estimar el estatus hídrico corporal, los que se detallan a continuación[37]:

*Marcadores urinarios**

Reflejan procesos homeostáticos recientes que han ocurrido para mantener la euhidratación. Se recomienda utilizar posterior a un periodo de descanso, idealmente tomando una muestra de la primera orina al despertar. Entre estos indicadores se encuentran: (i) la osmolalidad**, (ii) la coloración de la orina y, (iii) la gravedad específica de la orina, siendo estos dos últimos los más utilizados en el campo deportivo debido a su utilidad práctica y bajo costo[37].

*Debido a diversos factores que pueden influir en la interpretación de resultados en cada prueba, se sugiere complementar los métodos y realizar un análisis completo de la información obtenida.

**En el caso de la osmolalidad urinaria, ésta considera deshidratación cuando se obtiene un valor por sobre 700 $mmol \cdot kg^{-1}$.

## Coloración de la Orina

Medida indirecta que se basa en comparar la coloración de la orina del atleta con una escala de referencia propuesta por Armstrong y cols.[38] (**Figura 2**). Se propone utilizar como herramienta de seguimiento del estado de hidratación a distancia sobre todo cuando el atleta estará expuesto a condiciones de calor y/o humedad.

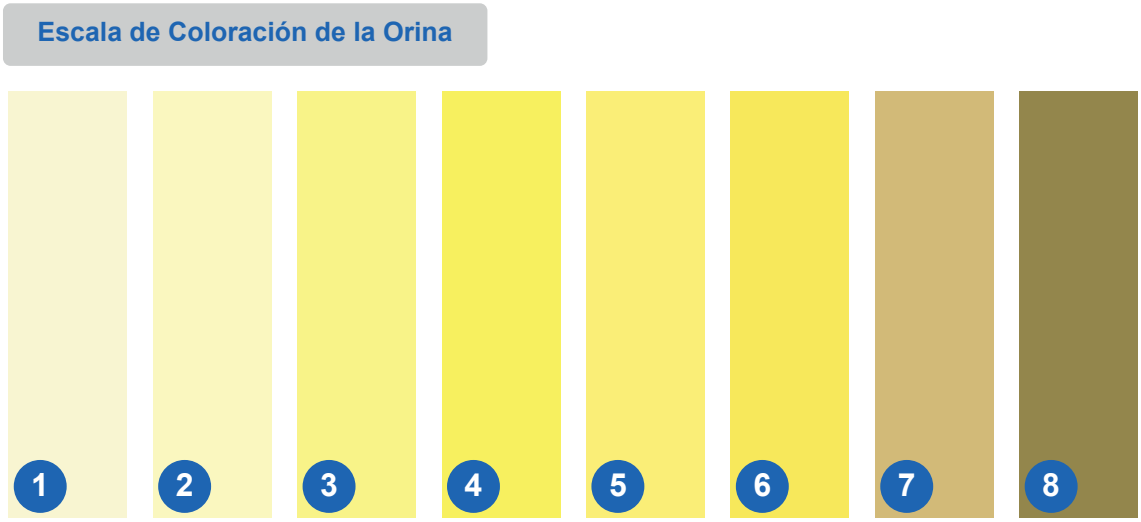



**Figura 2**. Escala de referencia de coloración de la orina (Adaptada de Armstrong y cols.)[38].

*Periodicidad del monitoreo*

Idealmente solicitar reporte diario en las condiciones descritas.

*Protocolo de valoración*

**Requisitos previos:** facilitar al atleta la escala de coloración mediante una imagen de buena calidad, ya sea impresa o digital. Orientar en cómo realizar un adecuado registro.

**Contraindicaciones/Consideraciones:** mujeres en periodo menstrual.

**Precauciones:** El uso de ciertos multivitamínico o algunos alimentos pueden interferir en la coloración de la orina, por tanto, registrar consumo de algún multivitamínico o alimento pigmentado (e.g., betarraga).

**Etapas:** explicar procedimiento al atleta; luego, solicitar una muestra de la primera orina de la mañana en un vaso o contenedor desechable; solicitar comparar el color de la orina con la escala de Armstrong entregada. En caso de estar presente el profesional en la medición, éste es quien debe clasificar la coloración de la muestra; registrar a qué valor corresponde el color observado; indagar y registrar uso de multivitamínicos o alimentos pigmentados.

*Materiales:*

Vaso o contenedor desechable transparente, en caso de no contar con esto, observar directamente del inodoro (indicar a nutricionista); escala de coloración (ver **Figura 2**); hoja de registro; lápiz.

*Valores Normativos:*

La escala se compone de 8 colores, ordenados desde el más claro al más oscuro, cada uno con un número asignado. Se considera un valor mayor e igual a 4 un estado de deshidratación[28,39]. A partir de esto, se establecen los siguientes puntos de corte (**Tabla 8**):

**Tabla 8**. Valores de referencia de interpretación para coloración de orina[38].

| Valores | Interpretación |
|---|---|
| Valores 1, 2 y 3 | Indican euhidratación |
| Valores 4, 5 y 6 | Indican hipohidratación leve |
| Valores >7 | Indican hipohidratación severa |

# Gravedad o Densidad Específica de la Orina (D.U.)

Medida indirecta que se basa en medir la gravedad específica de la orina mediante el uso de un refractómetro digital o análogo.

*Periodicidad del monitoreo*

En monitoreo rutinario, al menos cada 3 meses para reforzar medidas de hidratación en caso de que se requiera. En cada visita a terreno, previo a un entrenamiento. Siempre que el atleta viaje a un ambiente extremo, realizar monitoreo de la densidad específica urinaria en la semana previa al viaje para reforzar esquemas de hidratación. Solicitar conjuntamente a la valoración de la composición corporal en deportes que compiten por categoría de peso.

*Protocolo de valoración*

**Requisitos previos:** idealmente solicitar una muestra de la primera orina de la mañana, de no poder contar con esto, tomar una muestra de orina posterior un periodo de descanso de al menos 4 horas. Previo a la medición, revisar el refractómetro asegurando su limpieza y calibración con agua destilada (D.U. agua destilada 1.000).

**Contraindicaciones/Consideraciones:** mujeres en periodo menstrual.

**Precauciones:** en caso de recepcionar una orina almacenada de la primera evacuación del día, mantener en un recipiente cerrado dentro de un lugar fresco y realizar la medición dentro de las próximas 2 horas, luego descartar. Para un adecuado manejo de los datos, identificar los contenedores solo con las iniciales de los atletas y descartarlas en un lugar seguro. Si el atleta ingiere una gran cantidad de líquido hipotónico previo a la medición, se puede estimular una gran excreción urinaria, reflejando un erróneo estado de euhidratación.

**Etapas:** explicar procedimiento al atleta; luego, solicitar al atleta tomar una muestra de su orina en el baño, en un vaso o contenedor desechable,

idealmente con tapa; utilizando guantes desechables, tomar una muestra de la orina con una pipeta Pasteur desechable; disponer una gota de orina en el prisma de lector del refractómetro cuidando de no excederse para no derramar ni de limitar la muestra para una correcta lectura; anotar el valor obtenido en la hoja de registro o ficha del atleta; quitar el exceso de orina con una mota de algodón limpio, luego limpiar el lente con otra mota con agua destilada; esperar que el lente esté seco para una nueva medición.

*Materiales*

Vaso o contenedor desechable idealmente con tapa; refractómetro; agua destilada; algodón; pipetas Pasteur; hoja de registro; lápiz.

*Valores Normativos*

Existen diversos puntos de cortes establecidos, sin embargo, la mayoría de los artículos científicos utilizan como referencia los puntos establecidos tanto por el Colegio Americano de Medicina Deportiva como la Asociación Nacional de Entrenamiento Atlético, los que hacen referencia a deshidratación con valores de D.U. >1.020[28,39]. A partir de esto se ha establecido (**Tabla 9**):

**Tabla 9**. Valores de referencia de densidad específica de la orina.

| Valores | Interpretación |
|---|---|
| Valores <1.020 | Euhidratación |
| Valores 1.020 – 1.029 | Hipohidratación leve |
| Valores >1.030 | Hipohidratación severa |

## Variación del Peso Corporal

Se utiliza para determinar los cambios en el agua corporal total durante una sesión de ejercicio, basándose en el delta del peso corporal pre y post entrenamiento. En cuanto a otros determinantes de cambios en el

peso corporal tales como: oxidación de sustratos, producción de agua metabólica, utilización de glucógeno y perdida de agua por respiración, se recomienda considerarlos solo en ejercicios de *ultraendurance* (>4 h)[37].

*Periodicidad del monitoreo*

En cada visita a terreno de monitoreo al atleta. Siempre que el atleta viaje a un ambiente extremo, realizar monitoreo conjuntamente a la densidad específica urinaria en la semana previa al viaje para reforzar esquemas de hidratación.

*Protocolo de valoración*

**Requisitos previos:** no tiene.

**Contraindicaciones/Consideraciones:** no tiene.

**Precauciones:** realizar el pesaje con el mínimo de ropa o idealmente sin ella (el atleta debe dictar el peso en este caso).

**Etapas:** explicar procedimiento al atleta; solicitar al atleta pesarse con el mínimo de ropa o sin ella previo al entrenamiento (en el último caso el atleta debe autopesarse al interior de un baño privado); al finalizar el entrenamiento se debe volver a pesar al atleta en las mismas condiciones.

*Materiales*

Pesa digital precisión 0.1 Kg; hoja de registro; lápiz.

*Valores Normativos:*

A partir del impacto en el rendimiento referido en artículos científicos se establece que los siguientes valores de referencia[34,36]:

**Tabla 10**. Interpretación acorde a % de pérdida de agua corporal.

| Valores | Interpretación |
|---|---|
| Pérdidas <2% | Pérdida de agua corporal aceptable* |
| Pérdidas 2-5% | Pérdida de agua corporal moderada |
| Pérdidas >5% | Pérdida de agua corporal severa |

*Dependiendo la disciplina deportiva puede ser más o menos crítico mantener el rango aceptable. Evaluar caso a caso.

## Otros indicadores

**Marcadores Sanguíneos:** entre éstos se encuentran la osmolalidad sanguínea, considerada como el Gold Standard para valorar cambios agudos en el estado de hidratación y el sodio sérico. Ambos indicadores aumentan ante la deshidratación. Se ha reportado que una deshidratación leve (<1% de pérdida de peso corporal) puede aumentar sustancialmente la osmolalidad sanguínea. Se considera un estado de deshidratación una osmolalidad plasmática >296 mmol/kg y un valor de sodio plasmático >145 mEq/L[39].

**Bioempedancia Eléctrica:** también ha ganado terreno para estimar el agua corporal total, sin embargo, no se puede utilizar después del ejercicio y requiere de modelos de referencia en las mismas condiciones[37].

**Sensación Subjetiva de la Sed:** se valora generalmente utilizando una escala Likert de 1 a 9, donde el valor 1 hace referencia a "nada de sed" y el valor de 9 a "mucha sed". A partir de esto, se considera una hidratación adecuada un valor <3, entre 3 y 5 hipohidratación leve, y valores por sobre 5 se podrían clasificar como deshidratación severa. A pesar de ser una valoración que carece de precisión debido a múltiples factores que influyen en su percepción, puede ser una herramienta útil de ser utilizada conjuntamente a otros indicadores descritos anteriormente[39].

# Métodos para estimar requerimiento hídrico del atleta en entrenamiento o competencia

La tasa de sudoración estimada a partir de los cambios en el peso corporal desnudo es uno de los métodos más utilizados para estimar los requerimientos hídricos en el atleta, considerándose un método fácil, simple y de bajo costo para este fin. Las características de esta valoración se detallan a continuación[34].

## Tasa de Sudoración

Además de los cambios en el peso corporal desnudo, esta medición contempla los líquidos ingeridos y la orina producida durante el entrenamiento para no sobre ni subestimar las pérdidas por sudor. En caso de que el atleta además consuma alimentos o evacúe su intestino, también deben considerarse en la ecuación[34]. La ecuación para estimar la tasa de sudoración es la siguiente:

$$\text{Tasa de Sudoración} = \frac{(\text{peso preejercicio} - \text{peso posejercicio}) + \text{ingesta líquidos}^{*} - \text{orina entrenamiento}^{**}}{\text{duración entrenamiento}}$$

*En caso de comer alimentos, sumar este pesaje a la ingesta de líquidos.
**En caso de evacuar intestino, sumar este pesaje a orina del entrenamiento.

*Periodicidad del monitoreo*

Se recomienda realizar tanto en el entrenamiento físico como técnico, en cada mesociclo, e idealmente en distintas estaciones del año para obtener referencias del atleta en distintas situaciones deportivas. Siempre que el atleta viaje a un ambiente extremo, realizar monitoreo conjuntamente a la densidad específica urinaria en la semana previa al viaje para reforzar esquemas de hidratación.

*Protocolo de valoración*

**Requisitos previos:** no tiene. Solicitar al atleta asistir con su botella habitual de ingesta (solo si ingiere de manera habitual).

**Contraindicaciones/Consideraciones:** mujeres en periodo menstrual.

**Precauciones:** realizar el pesaje sin ropa (peso dictado por el atleta) o con el mínimo posible. Esto debido a que se han reflejado subestimaciones entre un 8-10% en la tasa de sudor por líquido atrapado en ella[40]. Idealmente contar con termómetro de temperatura ambiental y temperatura de bulbo húmedo.

**Etapas:** explicar procedimiento al atleta; solicitar al atleta orinar para vaciar la vejiga y posterior a esto solicitar pesarse idealmente sin ropa o con el mínimo posible y dictar valor al profesional a cargo; registrar en ficha respectiva; identificar en la ficha el tipo de líquido a ingerir por el atleta; pesar la botella de cada atleta con el líquido antes de partir el entrenamiento, además marcar las botellas con las iniciales de cada atleta en caso de haber 2 o más iguales; registrar en la ficha respectiva. Cada atleta deberá contar con su propia botella con líquido, no podrá compartir en ningún momento el líquido con los demás atletas. En caso que el atleta no cuente con botella, se proveerá de una. Una vez iniciado el entrenamiento, registrar la hora de inicio y temperatura ambiental en caso que se cuente con este dato; cada vez que el atleta desee rellenar la botella durante el entrenamiento se debe registrar el peso antes y después de esto; en caso que el atleta desee consumir algún alimento durante el entrenamiento, este debe ser pesado y registrado en la ficha; en caso que el atleta tenga deseos de evacuar su intestino, debe pesarse antes y después de esto. El delta del peso corporal se debe registrar en la ficha; al finalizar el entrenamiento se debe registrar en la ficha la hora de termino y el peso de la botella vacía o con el líquido restante. Registrar también la temperatura ambiental de ese momento en caso de contar con el dato; posterior a esto, solicitar al atleta orinar en un recipiente, vaciando completamente la vejiga. La orina colectada deberá pesarse. Registrar valor en la ficha; para finalizar, se debe solicitar pesaje

al atleta en las mismas condiciones iniciales, habiéndose secado el sudor del cuerpo y cabello. Registrar en la ficha.

*Materiales*

Pesa digital para peso corporal con precisión de 0.1 kg; pesa de alimentos con precisión de 0.01 kg; vaso o contenedor desechable, idealmente con tapa; reloj; termómetro ambiental; hoja de registro; lápiz.

*Valores Normativos*

Al ser la sudoración multifactorial, no existen valores de referencia. Es relevante poner especial atención a tasas de sudoración elevadas (>1.2 L/h).

## Método para medir sodio en el sudor

Existe una gran diversidad en los valores de tasa de sudoración y concentración de electrolitos que pueden llegar a presentar los atletas, lo que se ha relacionado a distintos factores tales como: el nivel de entrenamiento, las condiciones ambientales, la intensidad de trabajo, la genética, la aclimatación, entre otros. Es por esto, que tanto la valoración de la tasa de sudor y de electrolitos en el atleta han sido objeto de estudio a lo largo de los últimos años para lograr individualizar los requerimientos y mantener un adecuado balance hidroelectrolítico. Debido a que el principal electrolito perdido en el sudor es el sodio, además de ser el que tiene mayores implicancias en la salud y en el balance hidroelectrolítico, es que se han elaborado diversos protocolos para poder estimarlo. La determinación de sudor en el cuerpo entero parece ser una medida precisa, sin embargo, requiere de una medición en laboratorio y un entrenamiento limitado que complejiza su uso. Los métodos de análisis de sudor local, basados en el uso de parches, parecen ser más simples y prácticos para ser utilizados en estudios de campo, sin embargo, requieren de ecuaciones de regresión para estimar

la cantidad de sodio total. En este apartado, se profundizará en la valoración de sodio a partir de una muestra de sudor local, mediante un analizador portátil que se basa en un electrodo selectivo de iones directo.

*Periodicidad del monitoreo*

Se recomienda realizar tanto en el entrenamiento físico como técnico en cada mesociclo, e idealmente en distintas estaciones del año para obtener referencias del atleta en distintas situaciones deportivas. Siempre que el atleta viaje a un ambiente extremo, realizar monitoreo conjuntamente a la tasa de sudoración en la semana previa al viaje para reforzar esquemas de hidratación.

*Protocolo de valoración*

Este protocolo se basa en las recomendaciones prácticas publicadas por Baker en el 2017[34], el cual permite valorar el sodio en sudor mediante técnica de parches.

**Requisitos previos:** no tiene.

**Contraindicaciones/Consideraciones:** respecto a las condiciones se sugiere realizar estímulo de sudoración a partir de ejercicio; realizar la prueba en condiciones representativas del entrenamiento/competición (entorno, intensidad, temporada, equipamiento, entre otros); realizar la prueba en distintas condiciones.

**Precauciones:** aplicar más de un parche por atleta (e.g., antebrazo derecho e izquierdo) para tener alternativas en caso que se caiga uno; evitar la hidromeiosis, es decir, evitar la saturación del parche, ya sea mediante la limitación del tiempo del parche en la piel, o el uso de parches con alta capacidad absorbente y/o cambiando los parches con frecuencia (generalmente se ha sugerido un tiempo entre 15 a 30 min); evitar la contaminación cruzada entre muestras de distintos atletas; refrigerar las muestras en recipientes herméticos a 4 °C por 3 a 5 días.

Se recomienda analizar directamente en el campo si no se pueden controlar bien las variables de transporte; se sugiere descartar la muestra si:

- El volumen de la muestra de sudor sugiere saturación del parche (el volumen depende del tipo y tamaño específico del parche).
- El sodio en sudor es <10 mmol/L o >90 mmol/L.
- El potasio en sudor es <2 mmol/L o >10 mmol/L.

**Etapas:** explicar procedimiento al atleta; comprobar si hay electrolitos en las herramientas de recolección; realizar ubicación anatómica (antebrazo parece ser una buena opción); aplicar los parches 20 a 30 minutos después del inicio del ejercicio (para establecer un estado estable de sudoración antes de la acumulación de sudor); limpiar la piel justo antes de la aplicación del parche con alcohol, enjuagar con agua destilada y secar con una gasa limpia (sin sodio); verificar que los parches se adhieran a la piel; marcar los datos si el parche se desprende prematuramente; aplicar varios parches por sesión si se estiman cambios significativos en los factores que podrían afectar la tasa de sudoración (intensidad del ejercicio o el medio ambiente) o si las condiciones son propicias para la hidromeiosis de todo el cuerpo (e.g., carrera intensa prolongada en aire húmedo y quieto); una vez recogida la muestra se analiza en el medidor de electrolitos portátil; para finalizar utilizar alguna ecuación de regresión para estimar el sudor de todo el cuerpo.

*Materiales*

Analizador portátil de electrolitos; parches de sudor; gasa estéril; agua bidestilada o agua destilada; guantes; pinza para retirar el parche; contenedores del tipo Eppendorf para recoleccion de sudor; jeringas para extraer el sudor de los parches.

*Valores Normativos*

Los valores normativos en deporte se encuentran en desarrollo.

# Valoración para Manejo del Peso Corporal

El manejo del peso corporal en deportes de combate u otras disciplinas que compiten por categoría de peso se ha vuelto uno de los principales desafíos del manejo nutricional en los atletas pertenecientes a estas disciplinas deportivas. Los diferentes métodos utilizados para este fin ponen en riesgo la salud y el rendimiento del atleta si no son profesionalmente guiados. Una baja de peso aguda basada en la deshidratación produce: reducción del volumen plasmático, disminución del volumen sistólico, y, por ende, reducción del flujo renal y, anomalías electrolíticas que vuelven al atleta susceptible a lesiones por calor y calambres musculares. A continuación, se detalla la severidad de las complicaciones derivadas de la perdida de peso en base a agua corporal (**Tabla 11**):

**Tabla 11**. Complicaciones derivadas de la perdida de peso en relación a agua corporal.

| Valores | Consecuencias |
|---|---|
| Pérdidas del 2% | Descenso de la capacidad termorreguladora |
| Pérdidas del 3% | Disminución de la resistencia al ejercicio, calambres, mareos, aumento del riesgo de sufrir lipotimias e incremento de la temperatura corporal hasta 38 grados |
| Pérdidas del 4-6% | Disminución de la fuerza muscular, contracturas, cefaleas y aumento de la temperatura corporal hasta 39 grados |
| Pérdidas del 7-8% | Contracturas graves, agotamiento, parestesias, posible fallo orgánica, golpe de calor |
| Pérdidas >10% | Supone un serio riesgo vital |

Es importante además destacar acontecimientos que han ocurrido en situaciones de baja de peso como el caso de 3 luchadores que murieron en un período de 5 semanas en el año 1997, esto mientras realizaban estrategias de baja de peso agudas. Situación que se repite el año 2017, cuando se reportó la muerte de un luchador de Muay Thai por golpe de calor, el cual se encontraba 3 kg por sobre su división. A nivel nacional, se han reportado casos de imposibilidad de competir por no lograr el peso de la división, además de casos de calambres musculares graves e insuficiencia renal aguda producto de una baja de peso inadecuada, dando como resultado la imposibilidad de competir al atleta. Estos hechos confirman la necesidad de extremar las precauciones que

permitan resguardar la salud de nuestros atletas. Debido a los riesgos en cuanto a lesiones y muerte reportadas en atletas, sumado al riesgo de no lograr competir en su categoría es que el Área de Nutrición Deportiva de la UCAD propone el siguiente manejo del atleta que compite por categoría de peso.

## Posición del Área de Nutrición Deportiva UCAD Respecto al Manejo del Peso en Deportes de Combate

Se sugiere control nutricional 1 vez por mes. El control del peso en atletas que compiten por categoría de peso debe considerar: (i) masa adiposa (mediante análisis de sumatoria de 6 pliegues), (ii) estado de hidratación. La meta en deportes de combate es lograr que los atletas no sobrepasen un 5% de su división el mes previo a competir, manteniendo un óptimo estado de hidratación y una alimentación adecuada a su condición de atleta de elite. Las estrategias a seguir se toman en base al diagrama representado en la **Figura 3**.

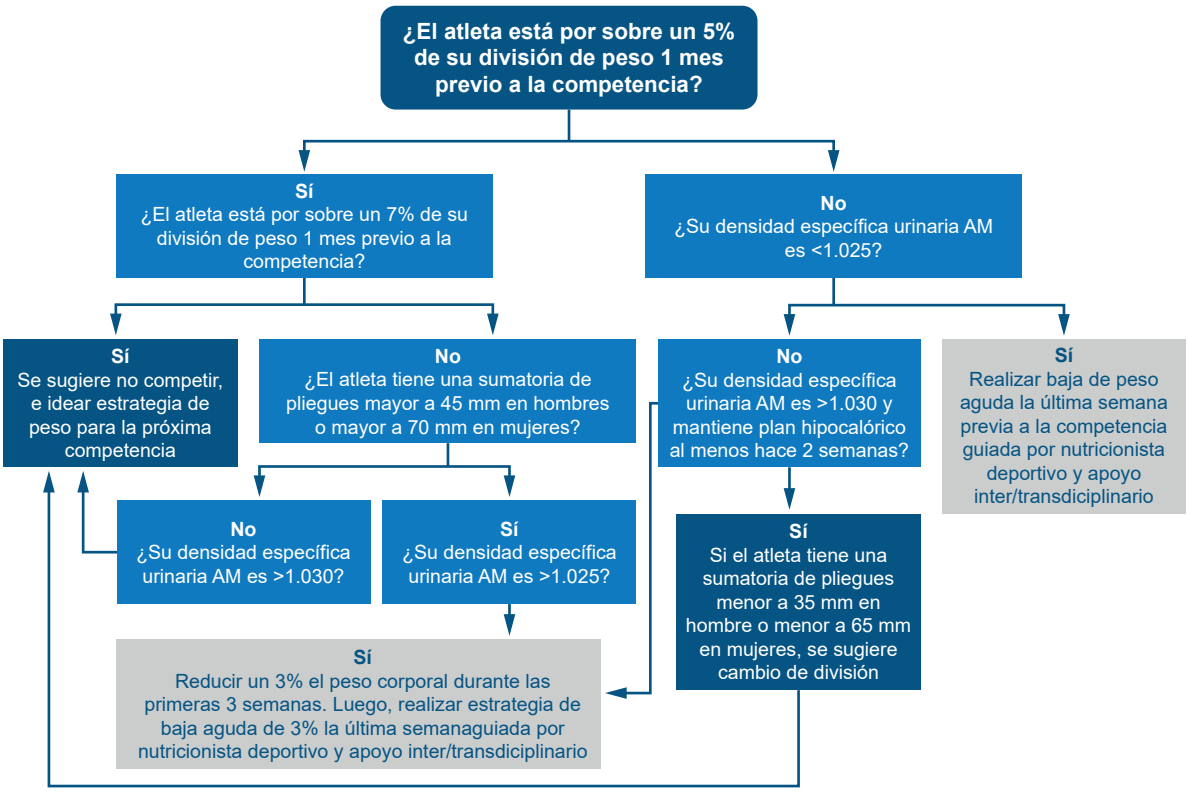



**Figura 3**. Diagrama para orientar decisiones relacionadas a peso corporal 1 mes previo a competencia.

Finalmente, se muestran tablas de referencia con pesos aceptables (5%) por disciplina deportiva 1 mes previo a la competencia:

**Tabla 12**. Valores de peso corporal de referencia (en kg) para Lucha.

| Categorías Lucha Grecorromana | | Categorías Lucha Libre Masculina | | Categorías Lucha Libre Femenina | |
|---|---|---|---|---|---|
| Categoría | Peso Aceptable 5% | Categoría | Peso Aceptable 5% | Categoría | Peso Aceptable 5% |
| <55 | 57.7 | <57 | 59.8 | <50 | 52.5 |
| <60 | 63.0 | <61 | 64.0 | <53 | 55.6 |
| <63 | 66.1 | <65 | 68.2 | <55 | 57.7 |
| <67 | 70.3 | <70 | 73.5 | <57 | 59.8 |
| <72 | 75.6 | <74 | 77.7 | <59 | 61.9 |
| <77 | 80.8 | <79 | 82.9 | <62 | 65.1 |
| <82 | 86.0 | <86 | 90.3 | <65 | 68.2 |
| <87 | 91.3 | <92 | 96.6 | <68 | 71.4 |
| <97 | 101.8 | <97 | 101.8 | <72 | 75.6 |
| <130 | 136.5 | <125 | 131.2 | <76 | 79.8 |

**Tabla 13**. Valores de peso corporal de referencia (en kg) para Taekwondo, categorías mundiales.

| Categorías Masculinas | | Categorías Femeninas | |
|---|---|---|---|
| Categoría | Peso Aceptable 5% | Categoría | Peso Aceptable 5% |
| <54 | 56.7 | <46 | 48.3 |
| <58 | 60.9 | <49 | 51.4 |
| <63 | 66.1 | <53 | 55.6 |
| <68 | 71.4 | <57 | 59.8 |
| <74 | 77.7 | <62 | 65.1 |
| <80 | 84.0 | <67 | 70.3 |
| <87 | 91.3 | <73 | 76.6 |
| >87 | –– | >73 | –– |

**Tabla 14**. Valores de peso corporal de referencia (en kg) para Taekwondo, categorías olímpicas.

| Categorías Masculinas | | Categorías Femeninas | |
|---|---|---|---|
| Categoría | Peso Aceptable 5% | Categoría | Peso Aceptable 5% |
| <58 | 60.9 | <49 | 51.4 |
| <68 | 71.4 | <57 | 59.8 |
| <80 | 84.0 | <67 | 70.3 |
| >80 | –– | >67 | –– |

**Tabla 15**. Valores de peso corporal de referencia (en kg) para Boxeo.

| Categorías Masculinas | | Categorías Femeninas | |
|---|---|---|---|
| Categoría | Peso Aceptable 5% | Categoría | Peso Aceptable 5% |
| 49 | 51.4 | 48 | 50.4 |
| 52 | 54.6 | 51 | 53.5 |
| 56 | 58.8 | 54 | 56.7 |
| 60 | 63.0 | 57 | 59.8 |
| 64 | 67.2 | 60 | 63.0 |
| 69 | 72.4 | 64 | 67.2 |
| 75 | 78.7 | 69 | 72.4 |
| 81 | 85.0 | 75 | 78.7 |
| 91 | 95.5 | 81 | 85.0 |
| >91 | –– | >81 | –– |

**Tabla 16**. Valores de peso corporal de referencia (en kg) para Karate.

| Categorías Masculinas | | Categorías Femeninas | |
|---|---|---|---|
| Categoría | Peso Aceptable 5% | Categoría | Peso Aceptable 5% |
| 60 | 63.0 | 50 | 52.5 |
| 67 | 70.3 | 55 | 57.7 |
| 75 | 78.7 | 61 | 64.0 |
| 84 | 88.2 | 68 | 71.4 |
| >84 | –– | >68 | –– |

# Referencias

**1.** Grivetti, L. E. & Applegate, E. A. From Olympia to Atlanta: a cultural-historical perspective on diet and athletic training. J. Nutr. 127, 860S-868S (1997).
**2.** Burke, L. M., Jeukendrup, A. E., Jones, A. M. & Mooses, M. Contemporary Nutrition Strategies to Optimize Performance in Distance Runners and Race Walkers. Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab. 29, 117-129 (2019).
**3.** Harris, H. A. The diet of Greek athletes. Proc. Nutr. Soc. 25, 87-90 (1966).
**4.** Krogh, A. & Lindhard, J. The Relative Value of Fat and Carbohydrate as Sources of Muscular Energy. Biochem. J. 14, 290-363 (1920).
**5.** Thomas, D. T., Erdman, K. A. & Burke, L. M. American College of Sports Medicine Joint Position Statement. Nutrition and Athletic Performance. Med. Sci. Sports Exerc. 48, 543-568 (2016).
**6.** Burke, L., Deakin, V. & Minehan, M. Clinical sports nutrition. (2021).
**7.** Astrand, P.-O. & Rodahl, K. Fisiología del trabajo físico: bases fisiológicas del ejercicio. (Editorial Médica Panamericana, 1997).
**8.** McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance. (2015).
**9.** Close, G. L., Hamilton, D. L., Philp, A., Burke, L. M. & Morton, J. P. New strategies in sport nutrition to increase exercise performance. Free Radic. Biol. Med. 98, 144-158 (2016).
**10.** IOC. Foods, nutrition and sports performance. J. Sports Sci. 9, 3-3 (1991).
**11.** Burke, L. M. The IOC consensus on sports nutrition 2003: new guidelines for nutrition for athletes. Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab. 13, 549-552 (2003).
**12.** IOC. IOC consensus statement on sports nutrition 2010. J. Sports Sci. 29, S3-S4 (2011).
**13.** Thomas, D. T., Erdman, K. A. & Burke, L. M. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. J. Acad. Nutr. Diet. 116, 501-528 (2016).
**14.** Maughan, R. J. et al. IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. Br. J. Sports Med. 52, 439-455 (2018).
**15.** IOC. IOC Consensus Statement on the Female Athlete Triad - Olympic News. International Olympic Committee https://olympics.com/ioc/news/ioc-consensus-statement-on-the-female-athlete-triad (2005).
**16.** Mountjoy, M. et al. The IOC consensus statement: beyond the Female Athlete Triad—Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). Br. J. Sports Med. 48, 491-497 (2014).
**17.** Ackland, T. R. et al. Current status of body composition assessment in sport: review and position statement on behalf of the ad hoc research working group on body composition health and performance, under the auspices of the I.O.C. Medical Commission. Sports Med. Auckl. NZ 42, 227-249 (2012).
**18.** Burke, L. M. et al. International Association of Athletics Federations Consensus Statement 2019: Nutrition for Athletics. Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab. 29, 73-84 (2019).
**19.** Stellingwerff, T., Morton, J. P. & Burke, L. M. A Framework for Periodized Nutrition for Athletics. Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab. 29, 141-151 (2019).
**20.** Jeukendrup, A. E. Periodized Nutrition for Athletes. Sports Med. Auckl. NZ 47, 51-63

(2017).
**21.** Slater, G. J., Sygo, J. & Jorgensen, M. SPRINTING. . . Dietary Approaches to Optimize Training Adaptation and Performance. Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab. 29, 85–94 (2019).
**22.** Peeling, P., Castell, L. M., Derave, W., de Hon, O. & Burke, L. M. Sports Foods and Dietary Supplements for Optimal Function and Performance Enhancement in Track-and-Field Athletes. Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab. 29, 198–209 (2019).
**23.** Kiely, J. Periodization paradigms in the 21st century: evidence-led or tradition-driven? Int. J. Sports Physiol. Perform. 7, 242–250 (2012).
**24.** Poslusna, K., Ruprich, J., de Vries, J. H. M., Jakubikova, M. & van't Veer, P. Misreporting of energy and micronutrient intake estimated by food records and 24 hour recalls, control and adjustment methods in practice. Br. J. Nutr. 101 Suppl 2, S73–85 (2009).
**25.** Haugen, H. A., Chan, L.-N. & Li, F. Indirect calorimetry: a practical guide for clinicians. Nutr. Clin. Pract. Off. Publ. Am. Soc. Parenter. Enter. Nutr. 22, 377–388 (2007).
**26.** Gupta, R. D. et al. Indirect Calorimetry: From Bench to Bedside. Indian J. Endocrinol. Metab. 21, 594–599 (2017).
**27.** da Rocha, E. E. M., Alves, V. G. F. & da Fonseca, R. B. V. Indirect calorimetry: methodology, instruments and clinical application. Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care 9, 247–256 (2006).
**28.** Lee, E. C. et al. Biomarkers in Sports and Exercise: Tracking Health, Performance, and Recovery in Athletes. J. Strength Cond. Res. 31, 2920 (2017).
**29.** Urdampilleta, A., Martínez-Sanz, J. M. & Lopez-Grueso, R. Valoración bioquímica del entrenamiento: herramienta para el dietista-nutricionista deportivo. Rev. Esp. Nutr. Humana Dietética 17, 73–83 (2013).
**30.** Urdampilleta, A., López-Grueso, R., Martínez-Sanz, J. M. & Mielgo-Ayuso, J. Parámetros bioquímicos básicos, hematológicos y hormonales para el control de la salud y el estado nutricional en los deportistas. Rev. Esp. Nutr. Humana Dietética 18, 155–171 (2014).
**31.** OMS. Mean fasting blood glucose. Organización Mundial de la Salud https://www.who.int/data/gho/indicator-metadata-registry/imr-details/2380.
**32.** Lopez, A., Cacoub, P., Macdougall, I. C. & Peyrin-Biroulet, L. Iron deficiency anaemia. Lancet Lond. Engl. 387, 907–916 (2016).
**33.** Damian, M.-T. et al. Anemia in Sports: A Narrative Review. Life Basel Switz. 11, 987 (2021).
**34.** Baker, L. B. Sweating Rate and Sweat Sodium Concentration in Athletes: A Review of Methodology and Intra/Interindividual Variability. Sports Med. Auckl. NZ 47, 111–128 (2017).
**35.** Onzari, M. Fundamentos de nutrición en el deporte. (Editorial El Ateno, 2014).
**36.** Nuccio, R. P., Barnes, K. A., Carter, J. M. & Baker, L. B. Fluid Balance in Team Sport Athletes and the Effect of Hypohydration on Cognitive, Technical, and Physical Performance. Sports Med. Auckl. NZ 47, 1951–1982 (2017).
**37.** McCubbin, A. J. et al. Sports Dietitians Australia Position Statement: Nutrition for Exercise in Hot Environments. Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab. 30, 83–98 (2020).
**38.** Armstrong, L. E. et al. Urinary indices of hydration status. Int. J. Sport Nutr. 4, 265–279 (1994).
**39.** Barley, O. R., Chapman, D. W. & Abbiss, C. R. Reviewing the current methods of assessing hydration in athletes. J. Int. Soc. Sports Nutr. 17, 52 (2020).

**40.** Cheuvront, S. N., Haymes, E. M. & Sawka, M. N. Comparison of sweat loss estimates for women during prolonged high-intensity running. Med. Sci. Sports Exerc. 34, 1344–1350 (2002).

CAPITULO 7

# LINEAMIENTOS DE PSICOLOGÍA DEPORTIVA APLICADA AL ALTO RENDIMIENTO

**Autores:**
Alexi Ponce, Rodrigo Barrera, Karla Guaita, Clauida Larenas, Antonio Ceresuela.

# TABLA DE CONTENIDOS


Introducción 478
Historia de la Psicología en el Deporte 478
Recorrido de la Psicología del Deporte en Chile 479
Área de Psicología Deportiva UCAD 481
Propósitos Área de Psicología Deportiva 481
Objetivos 482
Especificación de Pilares Estratégicos 483
Pilar de Rendimiento Deportivo 483
Principios Orientadores para el Atleta Competitivo 485
Componentes del Rendimiento Deportivo 486
Desarrollo Valórico del Deporte 488
Tipos de Deporte y Psicología Deportiva 493
Variables Psicológicas 496
Entrenadores, Cuerpos Técnicos y Psicología Deportiva 501
Variables, Valoración y Técnicas en Psicología Deportiva 504
Pilar de Prevención de Lesiones y Enfermedades 511
Intervención Psicológica para la Prevención de Lesiones Deportivas 512
Bibliografía 514

# INTRODUCCIÓN

La Psicología del Deporte es un área aplicada de la psicología, que a su vez se inserta dentro del campo de las Ciencias del Deporte. Su consolidación en el ámbito internacional lo podemos situar con la celebración del 1er Congreso Internacional de Psicología del Deporte que se realizó en Roma en el año 1965. Según Gill, Williams & Reifsteck, la psicología del deporte y el ejercicio se define como el estudio científico de las personas y sus conductas en el contexto del deporte y el ejercicio, y la aplicación práctica de dicho conocimiento[1]. De lo anterior podemos desprender dos lineamientos, que guían a la psicología del deporte:

**a.** Comprender en que forma los factores psicológicos afectan el rendimiento deportivo.

**b.** Comprender en qué forma la participación en actividades deportivas y físicas afecta el desarrollo psicológico, la salud y el bienestar de una persona.

Para lograr una buena compresión desde ambos lineamientos, es necesario realizar un constante monitoreo por medio de aplicaciones prácticas, los cuales se pueden llevar a cabo con niños, adolescentes y adultos en su proceso de iniciación, formación, consolidación o alto rendimiento deportivo.

## Historia de la Psicología en el Deporte

La **Tabla 1** muestra el resumen de la historia de Psicología del Deporte.

| | |
|---|---|
| **Comienzos (1879 - 1919)** | A finales del siglo XIX, en Estados Unidos encontramos las primeras investigaciones psicológicas que utilizan a atletas de tenis y esgrima, en donde se analizaba el tiempo de reacción. Se destaca la publicación del libro de Jusserand en 1901 sobre psicología del futbol y el de Barth, en 1912, sobre el poder mental y el carácter en la actividad física[2]. |
| **Período Entreguerras (1920 - 1945)** | En la Unión Soviética, A.Z. Puni y P. Rudick, crearon el primer laboratorio de Leningrado, donde inician investigaciones sobre el tiempo de reacción, las motivaciones hacia la práctica deportiva, el poder mental, las tensiones y la personalidad del atleta[3]. Se introduce el concepto de "preparación psicológica" para hacer referencia al trabajo centrado en las necesidades y demandas de cada deporte y atleta. Se comienzan a impartir los primeros cursos de psicología de la actividad física y el deporte, así como la publicación de grandes obras como "*Psychology of Coaching*" en1926 y "*Psychology of Athletics*" *en* 1928, que han sido referentes de la disciplina a lo largo de su historia. En EE. UU, el estudio del deporte se enfocó más hacia el deporte universitario, realizando intervenciones con atletas en la Universidad de Illinois (Chicago) y creando el primer laboratorio de psicología del deporte de Estados Unidos por Coleman Griffith en 1930, donde se investigaban preferentemente temas como el tiempo de reacción, la personalidad, la habilidad motriz y el aprendizaje motor[4]. |
| **Previo al 1º Congreso Mundial (1946-1964)** | En 1954 fue la creación de las primeras asociaciones de Psicología del Deporte: en Checoslovaquia; en Japón en 1960, y en Bulgaria en 1962. A.Z. Puni organizó en Leningrado en 1956 el primer congreso local para psicólogos del deporte. En EE. UU. las investigaciones giraron en torno a las habilidades motrices y los temas perceptivos. En sus comienzos eran pruebas de laboratorio orientadas para la selección de pilotos que fueron paulatinamente desarrollándose también con atletas. |
| **Consolidación (1965-1985)** | En 1965 se celebró en Roma el primer congreso mundial de la disciplina, organizado por el psiquiatra F. Antonelli. A partir de la celebración de ese primer congreso mundial la psicología de la actividad física y el deporte, comienza a consolidarse y se crean numerosas asociaciones nacionales e internacionales. En cuanto a las publicaciones, nace la primera revista específica sobre la temática, el *International Journal of Sport Psychology*, fundada en 1970 como órgano de difusión de la ISSP. En la URSS se aborda la intervención directa con los atletas, en donde se trabaja de manera específica la preparación psicológica de los atletas, asistiendo los psicólogos a los Juegos Olímpicos. En 1980 el Comité Olímpico de los Estados Unidos (USOC) crea la junta de asesoramiento psicológico y en 1983 elabora unas normas sobre quién podía ser psicólogo de los equipos olímpicos norteamericanos, contratando en 1985 con al primer profesional especializado en psicología del deporte[5]. |

## Recorrido de la Psicología del Deporte en Chile

La Psicología del Deporte tiene ya más de cincuenta años de historia en Chile, en el año 1967 un grupo de profesionales no psicólogos crean la Sociedad Chilena de Psicología del Deporte, siendo su primer presidente el médico Lisandro San Martin Risetti y su vicepresidente el profesor Juan Yovanovic Espinoza. Sus incipientes actividades quedaron registradas en el primer número de la revista International Journal of Sport Psychology del año 1969 que publicó la International Society of Sport Psychology ISSP. Entre los años 1978 y 1982 se incorpora un par de psicólogos que encabezan al Comité Olímpico de Chile en un programa que tenía como objetivo la búsqueda de talentos deportivos. Desde su fundación el año 1995, el Centro de Alto Rendimiento ha contado con

profesionales psicólogos dentro del staff de profesionales disponible para el trabajo con atletas, actualmente se desempeñan en esta labor cinco profesionales psicólogos.

En el año 1996 se funda la Asociación Chilena de Psicología del Deporte con el objetivo de agrupar a los psicólogos deportivos, compartir experiencias y fortalecer el ámbito formativo. En el año 2011, en un acto realizado en las dependencias de la residencia del Centro de Alto Rendimiento del Estadio Nacional, se unificaron ambas sociedades, la sociedad creada el año1967 y la asociación del año 1996, manteniendo el nombre de la primera SOCHPD. En el mes de noviembre del año 2011 se fundó la Sociedad Internacional de Psicología y Fútbol (PSIFUT), y se realizó el primer Congreso Internacional de Psicología y Fútbol en la Universidad San Sebastián, en Santiago de Chile. En noviembre del año 2012 se realizó el Congreso de la Sociedad Chilena de Psicología del Deporte, en la misma Universidad San Sebastián. En el año 2014, se realizó la formación en Coaching Deportivo a psicólogos a través de la Asociación Española de Psicología del Deporte, y esta formación da origen a la Asociación de Psicología y Coaching Deportivo (APCD Chile). En noviembre de 2014 se realizó el segundo Congreso de Psicología y Fútbol "Psicología y Coaching aplicado al fútbol, alcances y verdades" en la Universidad Central de Chile. En agosto del año 2016, en la Universidad las Américas de Viña del Mar 2015, esta naciente Asociación APCD, organiza su primer Congreso. El 18 julio del año 2017 se crea la Asociación Chilena de Psicología Social del Deporte AChPSD. En octubre del año 2017 se realiza el segundo Congreso de la APCD Chile en la Universidad Autónoma de Talca. En el año 2018 la Sociedad Iberoamericana de Psicología del deporte (SIPD) y la APCD Chile realizan el VII Congreso Iberoamericano de Psicología del Deporte – SIPD en la Universidad Andrés Bello de Chile. En abril del año 2020, en el contexto de la pandemia, y dadas las dificultades para los encuentros presenciales, APCD-Chile en conjunto con APDEL de Argentina, SUPDE de Uruguay, crean la RED PsiSUR que engloba a diversas asociaciones y sociedades de psicología del deporte de Sudamérica, con el objetivo de intercambiar experiencias y potenciar la formación de los profesionales ligados a la psicología del deporte. En la actualidad esta Red la conforman 14 Asociaciones o Sociedades de 10 países Sudamericanos.

En cuanto a formación:

El año 2004 se dicta un Diplomado Internacional en Psicología del Deporte en conjunto a la Universidad Diego Portales de Chile y la Universidad de Islas Baleares de España. En el año 2011 se transformó en un Master, y actualmente ya no se realiza. Desde el 2018 la SOCHPD y una clínica privada realiza un cursos de especialista en psicología del deporte y rendimiento humano. Durante el año 2021, la APCD Chile en conjunto con la Universidad de Xalapa (Veracruz, México) realizó el 1° Diplomado Internacional de Psicología del Deporte, donde se formaron psicólogos de Chile, México y Venezuela.

## Área de Psicología Deportiva UCAD

El Área de Psicología Deportiva es una de las seis áreas que conforman la Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte (UCAD). Tiene como función principal entregar un asesoramiento continuo a través de estrategias y técnicas de afrontamiento específicas, las cuales van a la par del entrenamiento deportivo y están centradas en el desarrollo constante de las capacidades y habilidades psicológicas (activación, motivación, confianza, concentración, competitividad, regulación emocional, entre otras), las cuales están inmersas en los contextos vinculados al proceso de desarrollo deportivo del atleta. Ya que este aprendizaje impacta positivamente en los procesos de desarrollo deportivo de los atletas, en la mayoría de los casos se incluye al entrenador y cuerpo técnico, así como también con los padres cuando los atletas son menores de edad.

## Propósitos Área de Psicología Deportiva

El Área de Psicología Deportiva de la UCAD intenta cumplir con varios propósitos que permitirán apoyar y monitorear el procesos de los atletas de alto rendimiento, dentro de los cuales destacan:

- Intentar asegurar que los atletas tengan las habilidades mentales adecuadas para competir al alto nivel[6].

- Crear un lenguaje común entre atletas, entrenadores y profesionales sobre la psicología deportiva.
- Optimizar el trabajo en equipo y crear una cultura ganadora.
- Propiciar que los atletas y entrenadores tengan la responsabilidad de su entrenamiento psicológico.
- Generar conocimientos y habilidades sólidas de la psicología, enfocadas en el proceso de trabajo y en intervenciones agudas.
- Potenciar que los atletas sean atletas "24/7".
- Abordar el cómo y en qué medida se involucra el entrenador en el trabajo psicológico, ya que, si bien el entrenador es importante en el proceso, la confiabilidad también los es para mantener un buen vínculo con los atletas.
- Crear entornos de entrenamientos óptimos.
- Lograr ser parte del equipo que rodea al atleta, cosa de generar buenas relaciones con el medio que lo rodea.
- Mantenerse informado, realizando proyectos e involucrándose en el desarrollo profesional.
- Asegurar que los atletas experimenten significado y valor en sus vidas deportivas, además de brindar habilidades para abordar el estrés y agotamiento en su carrera.
- Conseguir que el atleta mejore sus procesos evaluativos de manera que sean lo más adaptados posible a sus propias exigencias y a la situación[7].

## Objetivos

*Objetivo General:*

- Identificar, entrenar, desarrollar y monitorear habilidades psicológicas orientadas al logro de la excelencia deportiva.

*Objetivos Específicos:*

- Aplicación de baterías de cuestionarios u otro medio para tener una valoración inicial orientado a identificar problemáticas

específicas limitantes y/o condicionantes de desarrollo deportivo.
- Utilización de recursos o dispositivos tecnológicos para la valoración orientados a la implementación de diagnóstico o desarrollo de técnicas psicológicas orientadas a favorecer el rendimiento deportivo.
- Acompañamiento y monitoreo continuo en procesos de entrenamiento deportivo (entrenamientos, concentraciones y competencias).
- Establecimiento de comunicación permanente con atleta de manera de favorecer el desarrollo y/o fortalecimiento de habilidades individuales vinculadas a la práctica deportiva de alto rendimiento.
- Establecimiento de reuniones de trabajo colaborativo y espacios de retroalimentación constante en el cuerpo técnico, head coach o técnico nacional o preparador físico.
- Derivación oportuna a especialistas ante la detección de elementos específicos de riesgo y/o condición de salud de gravedad.

## Especificación de Pilares Estratégicos

Los Pilares Estratégicos de la Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte son los descritos en el **Capitulo 1**:

- Pilar de Rendimiento Deportivo.
- Pilar de Prevención de Lesiones y Enfermedades.
- Pilar de Evidencia Diagnóstica, Rehabilitación y Reintegro Deportivo (ver **Capitulo 1**).
- Pilar de Perfeccionamiento, Investigación, Tecnología e Innovación (ver **Capitulo 1**).

## Pilar de Rendimiento Deportivo

La práctica del deporte al más alto nivel implica indefectiblemente dirigir la atención hacia el rendimiento (consecución de objetivos

deportivos) como uno de los elementos más relevantes, influyendo en los perfiles de competitividad (indicador personal de respuesta a la competencia), ya que es un constructo complejo y causado por múltiples variables, como son la motivación, la atención, la autoconfianza, el estrés y la ansiedad[8]. En el Área de Psicología Deportiva se entrega al atleta un asesoramiento y un monitoreo continuo en su proceso de desarrollo deportivo, entendiendo este trabajo como entrenamiento mental deportivo, que va a la par del entrenamiento que realiza el atleta. El entrenamiento mental está centrado en el desarrollo constante de las capacidades y habilidades psicológicas, (motivación, autoestima, toma de decisiones, concentración, atención, control del estrés competitivo, control emocional, entre otros), y tiene por objetivo conseguir que el atleta se sienta en un estado óptimo para rendir[9].

El entrenamiento mental deportivo favorecerá a que el atleta aprenda a dominar e integrar aquellas habilidades psicológicas vinculadas a su rendimiento, siendo capaz de autorregularse, tanto en los entrenamientos como en las competencias, para así intentar mejorar el conocimiento que tiene de sí mismo y lograr así conseguir su mejor versión[9]. Es importante que el entrenamiento que se realice sea constante y genere un aprendizaje, impactando positivamente en los procesos de desarrollo deportivo de los atletas. Idealmente, y en la mayoría de los casos, se incluye al entrenador y cuerpo técnico en el trabajo psicológico, así como a los padres cuando los atletas son menores de edad. Respecto a la intervención, es necesario tener en cuentas ciertos aspectos que son esenciales para que se logre el objetivo del entrenamiento mental. En primer lugar, hay que considerar que cada atleta, condición de entrenamiento y competencia son únicas, por lo que hay que ser capaz de lograr enfocar la intervención según las necesidades que van surgiendo desde la individualidad de cada caso, así como la manera en que el atleta aborda las habilidades psicológicas[10]. Así mismo, es importante ir variando las condiciones, ejercicios y dinámicas de intervención, para así evitar caer en la monotonía y perdida de interés por el proceso. Estar adquiriendo nuevas herramientas de intervención, tener la capacidad de adaptarse a los escenarios de entrenamientos y competencias, trabajar en terreno e ir potenciando

cada variable con diferentes técnicas, permite entregar variedad al entrenamiento mental y lograr mayor adherencia al proceso por parte del atleta. Realizar ejercicios lo más parecido posible a las situaciones de dificultad a los que se deben enfrentar los atletas durante las competencias genera un mayor grado de eficacia en el trabajo. Tener un control sobre las variables que afectan el estado óptimo del atleta y abórdalas desde la especificidad permite consolidar las habilidades a trabajar[10]. Por último, toda la propuesta de entrenamiento mental que se realice debe estar planificada y coordinada con los demás miembros de la UCAD y del cuerpo técnico que estén trabajando con el atleta. Es importante realizar un trabajo inter/transdisciplinario, que permita tener un monitoreo permanente para asegurar la eficiencia y efectividad en el trabajo.

## Principios Orientadores para el Atleta Competitivo

A continuación, se describen algunos principios que pueden orientar al atleta y cuerpos técnicos a lograr sus objetivos desde el punto de vista de la Psicología Deportiva.

- En el deporte competitivo no hay atajos, por lo que es necesario el entrenamiento constante, así como que los atletas y entrenadores tengan la responsabilidad de su entrenamiento psicológico.
- Se debe ser atleta 24/7.
- La duda y la preocupación son naturales e inevitables en el deporte, porque lo que hay que tener la fuerza mental de actuar de manera coherente con los valores e ideas.
- La adversidad es una parte natural del deporte, por lo que se tiene que crear oportunidades de crecimiento.
- El contexto de competencia se amplifican las emociones y el pensamiento, por lo que las habilidades psicológicas y el psicólogo deportivo juega un papel importante durante esos contextos.

## Componentes del Rendimiento Deportivo

Podemos entender al atleta como una unidad funcional, donde los ámbitos fisiológicos, motrices, psicológicos y socio-afectivos interactúan en conjunto, haciéndose presente en cada comportamiento deportivo, siendo fundamental vincularlos en la preparación del atleta para poder usarlos tanto en entrenamientos como en competencias[11].

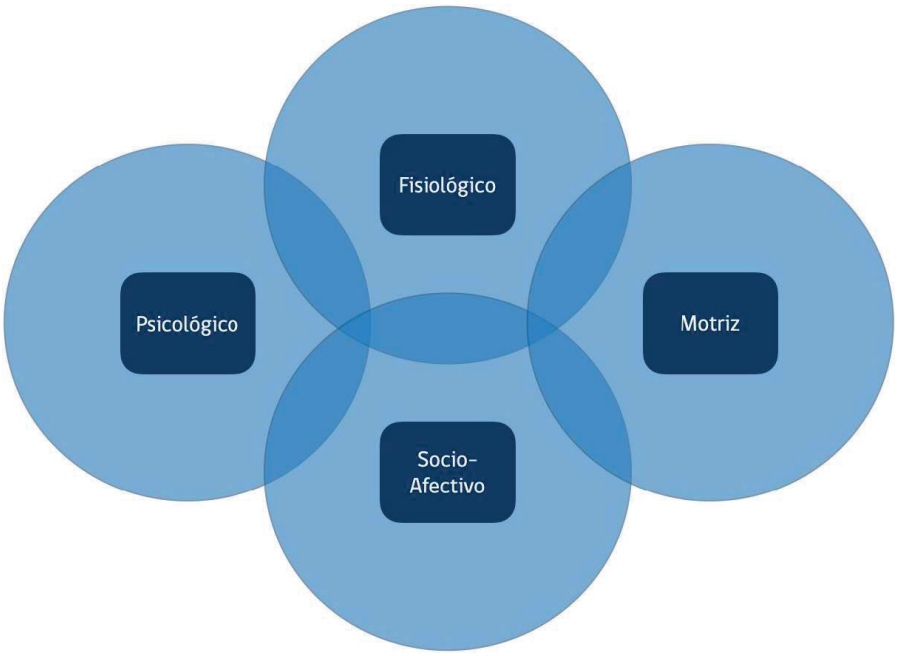



**Figura 1**. Componentes del rendimiento que interactúan en el proceso de preparación del atleta.

Los apartados fisiológicos y motriz son analizados y trabajados desde otras ciencias del deporte, por lo que aquí haremos algunas precisiones de las dimensiones psicológicas y socio-afectivas.
Ambas dimensiones requieren:

- Un correcto equilibrio cognitivo y emocional.
- Un adecuado funcionamiento personal, lo que ayuda a una interpretación eficaz tanto de compañeros como de rivales.

- La dimensión psicológica pone énfasis en habilidades orientadas a mismo que le permiten al jugador el aprendizaje y crecimiento individual.

- La dimensión socio-afectiva, ayuda al atleta a desarrollar habilidades de vinculación con su entorno inmediatos.

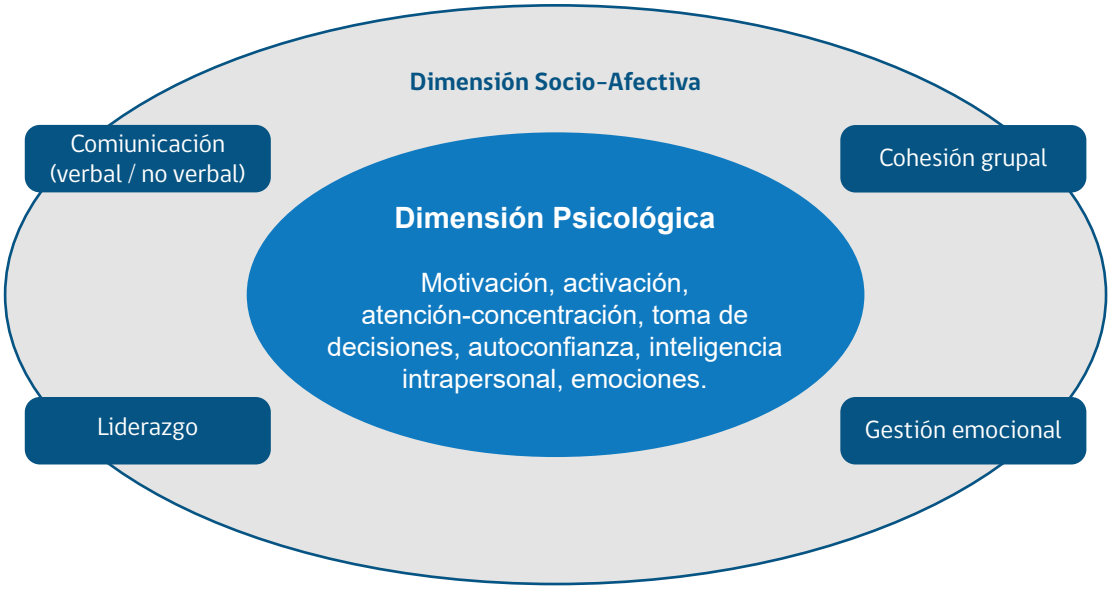



**Figura 2.** Dimensiones psicológicas y socio-afectivas vinculadas al alto rendimiento.

Las habilidades mentales se pueden agrupar en cuatro tipos (**Tabla 2**):

- Habilidades Básicas.
- Habilidades de Rendimiento.
- Habilidades de Desarrollo Personal.
- Habilidades de Equipo.

**Tabla 2**. Desarrollo de las habilidades mentales.

| | | |
|---|---|---|
| **Habilidades Básicas** Recursos para alcanzar el éxito | **Impulso de Logro** | Deseo de esfuerzo y persistir en la superación de obstáculos para lograr metas valiosas e importantes. (motivación, fuerza de voluntad compromiso, perseverancia). |
| | **Autoconciencia** | Habilidad para comprender pensamientos, sentimientos y conductas propias de forma introspectiva y retrospectiva. (autoconocimiento, actitud). |
| | **Pensamiento Productivo** | Manejar pensamientos de forma efectiva para prepararse y responder a los eventos de la vida de una forma que se facilite el éxito personal y bienestar (optimismo, resiliencia, adaptación, foco en soluciones). |
| | **Autoconfianza** | Creencia que uno mismo posee los recursos internos y habilidades necesarias para alcanzar el éxito. |

| | | |
|---|---|---|
| **Habilidades de Rendimiento** Capacidades mentales críticas para ejecutar habilidades durante el rendimiento deportivo | **Perceptivo-Cognitiva** | Procesamiento estratégico óptimo de información relevante para la tarea (toma de decisiones, reconocimiento de patrones de juego, búsqueda visual eficiente de comportamientos, anticipación). |
| **Habilidades de Desarrollo Personal** Indicadores significativos de desarrollo y madurez, que permiten alto funcionamiento psicológico a través de la claridad del autoconcepto, sentimientos de bienestar y relación con los demás. | **Foco Atencional** | Capacidad de dirigir y sostener selectivamente el foco atencional seleccionado lo necesario para una ejecución exitosa de una actividad específica (atención, concentración, percepción). |
| | **Manejo de la Energía** | Manejar eficazmente varios estados emocionales, para lograr niveles personales de energía física y mental óptimos para el rendimiento (control de activación, gestión emocional). |
| | **Logro de identidad** | Claro sentimiento de identidad (sentido de sí mismos como atletas, autodeterminación). |
| | **Competencia Interpersonal** | Capacidad de interactuar eficazmente con otros demostrando habilidades de comunicación efectivas (satisfacción, bienestar). |
| **Habilidades de Equipo** Cualidades colectivas para lograr un ambiente de equipo eficaz y para el éxito íntegro del equipo. | **Confianza de equipo** | Creencia de que el equipo cuenta con los recursos colectivos para lograr el éxito (autoeficacia colectiva). |
| | **Liderazgo** | Capacidad de los individuos de influenciar a otros dentro del equipo pensar y actuar de forma que facilite el éxito y la calidad del ambiente social del equipo. |
| | **Comunicación** | Proceso de relación interpersonal dentro del equipo que facilita la entrega de información, el éxito y bienestar del equipo. |
| | **Cohesión** | Capacidad del equipo para adherirse y mantenerse unido en la búsqueda de sus metas. |

# Desarrollo Valórico del Deporte

La práctica del deporte competitivo debe también fomentar y favorecer el desarrollo de aspectos valóricos que permitan al atleta una formación integral. Dentro de todos los aspectos valóricos que pueden mejorar la práctica sistemática del deporte podemos encontrar al menos los siguientes[12]:

- Compromiso.
- Perseverancia.
- Responsabilidad.
- Trabajo en Equipo.
- Respeto a las normas.
- Respeto a los demás.
- Aprender a competir.

*Compromiso:*

La posibilidad de elegir practicar un deporte trae implicado un compromiso consigo mismo y con los compañeros. Una vez asumido, aparecen una serie de desafíos para el atleta, como por ejemplo ir a entrenar lo días acordados o competir los fines de semana, donde a veces se debe cumplir este compromiso a pesar de su gusto personal, renunciando incluso a otras actividades personales. Es importante que el entrenador ayude al atleta a dejar su egoísmo natural, y facilitarle a pensar en sus compañeros, a sacrificarse por ellos, y a cumplir con los compromisos adquiridos. Hoy en día, una de las quejas que escuchamos sobre los atletas es que mayoritariamente se mueven por intereses individuales, sin tener consideración por los otros, si no les gusta algo lo dejan, si es muy complejo o difícil abandonan, o si no obtiene beneficios inmediatos no insisten. En definitiva, el esfuerzo como mecanismos para logra objetivos, es complejo de desarrollar. La falta de compromiso lleva al abandono temprano y a no desarrollar proyectos que impliquen dificultades, por ello la práctica del deporte y los compromisos que implican, en términos de perseverar para aprender lo básico, entender el juego y disfrutar de su práctica son una irremplazable oportunidad de carácter educativo, para que aprendan de manera entretenida y lúdica a aceptar y asumir compromisos, lo cual traerá no solo beneficios actuales sino que a lo largo de todo el desarrollo de la persona, afectando positivamente sus actividades escolares, sociales y profesionales.

*Perseverancia:*

Uno de los aspectos centrales en la motivación deportiva es la

capacidad de perseverar en aquello que me mueve, lo cual será esencial para alcanzar cualquier objetivo en la vida. La perseverancia en el deporte se puede observar cuando el atleta no logra el aprendizaje al ritmo de otros compañeros, cuando se equivoca, cuando no juega según lo entrenado, cuando no obtiene el resultado deseado. En primer lugar, todo esto pondrá al atleta frente a la frustración de no alcanzar sus objetivos, siendo este un "momento mágico" para el atleta y su entrenador ya que es aquí donde se tiene la oportunidad de hacer crecer al atleta más allá de su rabia, pena, enojo, o tristeza que le provoque esa frustración momentánea. La mejor manera de salir adelante de esa situación de frustración, es la perseverancia, insistir cuando las cosas no están resultando, ya que no solo le permitirá tolerar la frustración, sino que además le mostrará que está en él o ella la posibilidad de cambiar y seguir enfocado en el logro de sus objetivos. La vida cotidiana de cada persona tendrá seguramente muchos momentos de frustración o adversos, pero el deporte puede ayudar a preparar de mejor manera la perseverancia necesaria para aplicar en otros ámbitos de la vida. Si el entrenador de atletas reconoce y destaca el esfuerzo que cada atleta pone en el logro de sus objetivos, independiente del logro mismo, sobre todo en situaciones difíciles o de gran frustración, es evidente que estará ayudando a la perseverancia de sus atletas, con todos los efectos presentes deseables y el gran aprendizaje a futuro de dicho valor.

*Responsabilidad:*

Una de las grandes virtudes de los deportes es que permiten que aprendan y se asuman responsabilidades individuales con relación a los beneficios que el grupo puede obtener de dicha conducta. El entrenador puede enseñar a sus atletas a asumir responsabilidades como un aporte razonable al desarrollo individual o del equipo, y que además le produzca satisfacción y orgullo saber que aporta al resultado. Es relevante que cada atleta sepa qué hacer, y qué se espera de él o ella individualmente, de acuerdo con sus características. Esto ayudará a que comprenda y valore la trascendencia de su aporte al desarrollo de su carrera deportiva. El entrenador debe tener estrategias de aprendizaje y de refuerzo, que le permitan destacar, reconocer, premiar, o felicitar los

comportamientos individuales, o colectivos que sean significativos, haciendo énfasis en aquellas conductas que se ven menos y no son tan reconocidas. El entrenador debe felicitar y reforzar todas las ART (Acciones que no Requieren Talento), por ejemplo, ser puntual, ser responsable en su entrenamiento, saber escuchar las instrucciones, levantarse y seguir entrenando/jugando/compitiendo, no discutir los cobros arbitrales, cuidar el entrenamiento invisible, entre otros.

*Trabajo en Equipo:*

La importancia del trabajo en equipo es fundamental no solo en el deporte colectivo sino también en los deportes individuales, nadie entrena solo. Existen muchas posibilidades para el entrenador de implementar juegos cooperativos dentro de los entrenamientos. En los deportes individuales se pueden mezclar y formar "equipos", jugar con distinta cantidad de atletas por equipo, entre otros, y evidentemente los mismos partidos o competencias, ya que ningún jugador/atleta puede ganar por si solo. Hay que precisar que no solo por el hecho de realizar deporte ya se aprende a cooperar o trabajar en equipo, de hecho, hay muchos atletas que no han aprendido o les cuesta mucho trabajar en equipo. El entrenador puede llevar registro de tareas colectivas de rendimiento, que requieran cooperación para su logro, donde todos los miembros, ya sea en deportes individuales o colectivos, suman para el logro de objetivos. Es importante que el entrenador acentúe la cooperación incluso en actividades fuera del entrenamiento.

*Respeto a las normas:*

No solo conocer las reglas propias del deporte y respetarlas permite jugar adecuadamente, sino también todo el que entrena debe poseer normas de funcionamiento interno y de convivencia que permitan conocer los límites, obligaciones, deberes y responsabilidades durante entrenamientos, concentraciones, viajes, competencias, partidos. Resulta fundamental para los atletas conocer desde un principio que existen normas que regulan y permiten una convivencia armónica entre todos los integrantes de un equipo (club deportivo, federación,

selección, entre otros) donde los intereses personales o el querer hacer lo que cada uno quiera no es posible y además está regulado con normas que se respetan.

*Respeto a los demás:*

La práctica del deporte es una excelente forma de aprender a respetar a otras personas, bien sean compañeros, rivales, entrenadores, árbitros, dirigente, hinchas, público. Se puede y debe aprender a respetar a los otros, las diferencias individuales que existen en su propio equipo, aceptando y valorando la convivencia con compañeros, que seguramente tendrán diferencias en muchos aspectos o en ideas o forma de ser.

*Aprender a competir:*

Puede ser lo más característico del deporte, el afán competitivo, pero deben procurar desarrollar las dos miradas de la competición. Ser **Competente**, es decir, lograr ser el mejor o la mejor atleta que mis capacidades permitan. Ser **Competitivo**, es decir, una vez logrado lo anterior, buscar el triunfo o ganar con todas las buenas herramientas que he desarrollado de ser competente. El proceso de aprendizaje cuando se comienza a competir debería incluir tres etapas:

**Etapa 1, Hacerlo:** donde se le enseña al atleta lo que debe realizar y debe comenzar a hacerlo, entendiendo que es el inicio de un proceso de mejoras.

**Etapa 2, Hacerlo bien:** se va logrando perfeccionar las tareas técnico-tácticas diseñadas por el entrenador.

**Etapa 3, Hacerlo mejor que mis rivales:** ya se está en competencia, y muchas veces todo lo entrenado lo llevan a la práctica y logran hacerlo mejor que el rival de turno. Si no se logra, hay que volver a la etapa 1 o 2.

Las habilidades psicológicas necesarias para aprender un deporte son

diferentes a las que se necesitan para competir en ese mismo deporte, por ello se debe preparar a los atletas para enfrentar los desafíos de la competencia (ver **Tabla 3**).

**Tabla 3**. Propuestas para preparar la competencia en atletas.

| Preparación para la competencia |
|---|
| **Pensar en Posibilidades y Probabilidades:** las posibilidades siempre están, las probabilidades las va construyendo la historia, todo juego, competencia, partido tiene momentos que entrega posibilidades para que el atleta o el equipo transforme las probabilidades, pero pueden ser a favor y también en contra. |
| **Ajustar expectativas a posibilidades**: trabajar para aumentar día a día las posibilidades de lograr lo que individualmente o como equipo se propone. |
| **Distinguir entre deseo y obligaciones:** Siempre quiero ganar (deseo) pero no tengo que ganar (obligación), hacer esta diferencia ayuda al atleta a enfrentar con menos presión las exigencias competitivas. |
| **Transformar deseos en objetivos:** ayudar al atleta a que sus deseos se canalicen en tareas cotidianas, actividades planificadas para alcanzar sus deseos. |
| **Favorecer conciencia sobre relación entre trabajo habitual y logro de objetivos**: desarrollar un plan de objetivos que contemple actividades diarias, semanales y mensuales vinculadas al logro de los objetivos. |
| **Aprender a reconocer estados de desajustes**: favorecer que los atletas puedan reconocer qué aspectos de la competencia le provocan algún grado de desajustes a nivel cognitivo y/o emocional. |
| **Reajuste:** aplicar trabajo psicológico, realizado previamente, para lograr reajustar pensamientos y/o emociones cuando aparecen las dificultades propias de la competencia. |

# Tipos de Deporte y Psicología Deportiva

Desde el punto de vista psicológico los deportes, según Riera, se pueden clasificar en cuatro categorías que van en función del nivel de cooperación y oposición[13].

***Deportes sin Cooperación y sin Oposición:***

En estos deportes la interacción más importante se produce entre el atleta y los objetos, y no con adversarios o compañeros de equipo. Lo anterior determina su rendimiento y resultado.

**Ejemplos de Deportes:**

- Ecuestre.
- Gimnasia Artística.
- Gimnasia Rítmica (individual).
- Patinaje Artístico (individual).
- Tiro al Blanco.
- Tiro al vuelo.
- Tiro con Arco.
- Ski Alpino.
- Atletismo (Saltos y Lanzamientos).

**Principales requerimientos psicológicos:**

- Autoconfianza.
- Control del estrés.
- Manejo de la frustración.

***Deportes sin Cooperación, pero con Oposición:***

En estos deportes, la interacción del atleta se produce con un otro, con un adversario. El resultado estará dado por la relación que el atleta establece con su rival.

**Ejemplos de Deportes:**

- Bádminton (individual).
- Esgrima.
- Squash.
- Judo.
- Karate.
- Lucha Olímpica.
- Taekwondo.
- Tenis (individual).
- Tenis de Mesa (individual).

**Principales requerimientos psicológicos:**

- Ansiedad precompetitiva.
- Autoconfianza.

- Motivación centrada en el ego.

***Deportes con Cooperación, pero sin Oposición:***

En estos deportes los resultados dependerán de la relación y cooperación que establezca el atleta con sus compañeros de equipo o animal. La acción de adversarios no entra en su campo de interacción.

**Ejemplos de Deportes:**

- Atletismo (relevos).
- Ciclismo (equipos).
- Gimnasia Rítmica (conjuntos).
- Nado Sincronizado.
- Patinaje (parejas).
- Vela.
- Remo.

**Principales requerimientos psicológicos:**

- Trabajo en equipo.
- Sinergia.
- Comunicación grupal.

***Deportes con Cooperación, y con Oposición:***

En estos deportes los resultados dependerán de la relación que establezca el atleta con sus compañeros de equipo con los cuales colabora, y también con los rivales que debe enfrentar.

**Ejemplos de Deportes:**

- Baloncesto.
- Balonmano.
- Fútbol.
- Rugby.
- Béisbol.
- Voleibol.

- Waterpolo.
- Hockey césped y patín.
- Tenis dobles.

**Principales requerimientos psicológicos:**

- Comunicación intra-grupal.
- Objetivos colectivos.

**Tabla 4**. Resumen de las variables psicológicas a trabajar según la clasificación de deportes.

| | | COOPERACIÓN | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **SIN** | **Requerimientos psicológicos iniciales** | **CON** | **Requerimientos psicológicos iniciales** |
| **OPOSICIÓN** | **SIN** | Ecuestre.<br>Gimnasia Artística.<br>Gimnasia Rítmica (individual).<br>Patinaje Artístico (individual).<br>Tiro al Blanco.<br>Tiro al vuelo.<br>Tiro con Arco.<br>Ski Alpino.<br>Atletismo (Saltos y Lanzamientos). | Autoconfianza, control del estrés y manejo de la frustración | Atletismo (relevos).<br>Ciclismo (equipos).<br>Gimnasia Rítmica (conjuntos).<br>Nado Sincronizado.<br>Patinaje (parejas).<br>Vela.<br>Remo. | Trabajo en equipo, sinergia y comunicación grupal. |
| | **CON** | Bádminton (individual).<br>Esgrima.<br>Squash.<br>Judo.<br>Karate.<br>Lucha Olímpica.<br>Taekwondo.<br>Tenis (individual). | Ansiedad precompetitiva, Autoconfianza y motivación centrada en el ego. | Baloncesto.<br>Balonmano.<br>Fútbol.<br>Rugby.<br>Béisbol.<br>Volleyball.<br>Waterpolo.<br>Hockey césped<br>Hockey patín.<br>Tenis dobles. | Comunicación intra-grupal y objetivos colectivos. |

# Variables Psicológicas

El Modelo de Estado Óptimo de Rendimiento (EOR) nos menciona que el objetivo de intervención que se debe buscar con los atletas es que estos encuentren y desarrollen un estado óptimo para rendir en función de sus

capacidades deportivas[10]. Para buscar lo anterior, en base al entrenamiento mental deportivo que realice, el atleta debe desarrollar las siguientes habilidades: estar motivado, activado, concentrado, con confianza, competitivo, emocionalmente regulado y cohesionado.

**Motivación:**

Esta habilidad se relaciona con el alto interés por aprender y mejorar en cada ejecución. La palabra motivación proviene del verbo latino "moveré", que traducido al español significa mover o movimiento, y que podríamos señalar como el punto de partida para todo proceso de aprendizaje y mejora. De manera simple, podemos definir a la motivación como la dirección; son aquellos factores internos o externos que van a mover, direccionar y regular la ejecución de la conducta o esfuerzo del atleta en los entrenamientos y competencias[14]. La motivación es clave en el deporte y sobre todo en el alto rendimiento, ya que, sin ella, es muy difícil que un atleta pueda alcanzar sus objetivos, mantenerse disciplinado, soportar las altas exigencias del entrenamiento, rendir al máximo en las competencias y afrontar diversas situaciones asociadas a la práctica deportiva como viajes, malos resultados y lesiones por nombrar algunos[15].

Pruebas para valorar y monitorear la Motivación:

- TEOSQ: Cuestionario de Orientación Ego – Tarea en el Deporte.
- SMS: Escala de Motivación Deportiva.
- PMCSQ-2: Cuestionario de Clima Motivacional Percibido en el Deporte.

**Activación:**

Esta habilidad se relaciona con un nivel óptimo de activación personal ajustado a una demanda determinada. La activación es entendida como una respuesta fisiológica y/o cognitiva del atleta en la que interviene el sistema nervioso central y el sistema neurovegetativo[15]. Así también, la podemos visualizar en el ámbito deportivo como un continuo que se

prolonga desde un estado de calma y relajación hasta un estado de máxima alerta, tensión y excitación en el atleta, que lo pueden llevar a experimentar un aumento de su frecuencia cardiaca, respiración y generación de pensamientos negativos. En el deporte, alcanzar un nivel de activación óptimo es clave para el atleta ya que tiene relación directa con su rendimiento deportivo. De lo contrario, cuando el nivel de activación está por debajo o por arriba de sus necesidades deportivas, se puede presentar un rendimiento negativo.

Pruebas para valorar y monitorear la Activación:

- Termómetro o escala subjetiva entre 0 y 10 para delimitar y cuantificar el nivel de activación.
- Biofeedback.

**Concentración:**

Esta habilidad se relaciona con estar centrado en las acciones relevantes que se tienen que hacer, viviendo el ahora de cada situación. Es importante hacer una distinción entre la **atención** y la concentración. En este sentido, la atención la podemos definir como la concentración y focalización de la actividad mental[16], que influye en la detección, análisis e interpretación de las demandas ambientales, para posteriormente tomar una decisión oportuna y precisa[15]. En cambio, la **concentración** la podemos entender como la capacidad que debe desarrollar el atleta para centrarse en las señales relevantes de una tarea y mantener ese foco a lo largo del tiempo que dura su entrenamiento o competencia. En el deporte, la concentración tiene una importancia relevante ya que un rendimiento óptimo va a estar asociado a que el atleta este focalizado en el presente, mentalmente relajado y con un alto grado de control o consciencia de su propio cuerpo, así como también de las influencias del ambiente externo.

Pruebas para valorar y monitorear la Concentración:

- TAIS: Test de Estilo Atencional e Interpersonal[17].

**Confianza:**

Esta habilidad se relaciona a que el atleta esté seguro de su preparación y de sus posibilidades de rendimiento. La autoconfianza es entendida como la convicción que un atleta tiene de que se puede llevar a cabo las habilidades necesarias (físicas y mentales) para ejecutar con éxito una conducta requerida, y que esta lo lleve a obtener un determinado rendimiento y resultado deportivo[18]. En relación con el rendimiento deportivo, la importancia de la autoconfianza radica en que puede llevar al atleta a percibir una situación como amenazante, y por ende generar estrés y ansiedad. Por el contrario, permite enfrentar las situaciones deportivas como un desafío que lo llevarán a generar las estrategias necesarias (física, técnicas, tácticas, mentales u otras) para alcanzar un óptimo rendimiento.

Pruebas para valorar y monitorear la Confianza:

- Escala de Autoeficacia General[19].

**Competitividad:**

Esta habilidad se relaciona con ser contundente y tener ganas de ganar, teniendo la capacidad de aprender y mejorar la capacidad de rendimiento. El entrenamiento permite al atleta aprender, dominar e integrar aquellas capacidades que le llevarán a interactuar de manera eficaz con el entorno específico de su modalidad deportiva e identificar las habilidades que debería mejorar para incrementar su competencia[9]. Entendiendo el aprendizaje como el resultado de la ejecución de los comportamientos aprendidos, se hace necesario para el atleta ser consciente de que está aprendiendo aquellas habilidades y técnicas necesarias para la competición[20]. Durante el contexto competitivo, el atleta está constantemente en riesgo de ser "capturado" por sus pensamientos y emociones, lo que puede generar que pierda el foco atencional[6]. Para que esto no suceda, es clave trabajar la habilidad de restablecer el foco en la tarea o en los propios valores del atleta, lo que le permitirá tener una convicción lógica de que es capaz de

autorregularse durante la competición, consiguiendo estar dentro de su estado óptimo de rendimiento.

Pruebas para valorar y monitorear la Competitividad:

- CPRD.
- Escala de Resiliencia.

**Regulación Emocional:**

Esta habilidad se relaciona con estar emocionalmente equilibrado, consciente de las emociones positivas y de la autorregulación emocional. La regulación adaptativa de las emociones consiste en modular las experiencias emocionales en vez de eliminarlas, posibilitando que el atleta aumente el control que tiene sobre su comportamiento, y de esta manera desarrollar la capacidad para inhibir impulsos o conductas inapropiadas o desadaptativas[21]. En el deporte, tener la capacidad de regular las emociones desadaptativas es clave ya que éstas pueden alterar y reducir el rendimiento del atleta, por lo cual su adecuado aprendizaje y aplicación permitirá responder de manera satisfactoria a las diversas demandas que generan el entrenamiento y la competencia.

Pruebas para valorar y monitorear la Regulación Emocional:

- Escala de Dificultades en la Regulación Emocional[22].

**Cohesión Grupal:**

Esta habilidad se relaciona con estar identificado, orgulloso de formar parte de un grupo, equipo o club que sirva de referencia. Un equipo se entiende como la interacción entre dos o más personas que se influyen mutuamente, en donde existe una clara distribución de roles y una interdependencia bien coordinada de tareas estables para alcanzar los objetivos establecidos. En el deporte, los atletas necesitan relacionarse con entrenadores, cuerpos técnicos, directivos y con otros atletas para

alcanzar sus objetivos. Por tal motivo es necesario en un equipo abordar aquellas variables que inciden directamente en la cohesión grupal como es la comunicación, la funciones, la confianza y la manera en que se abordan la resolución de los problemas que pueden afectar en el rendimiento óptimo esperado[16].

Pruebas para valorar y monitorear la Cohesión Grupal:

- Sociograma.
- CPRD.

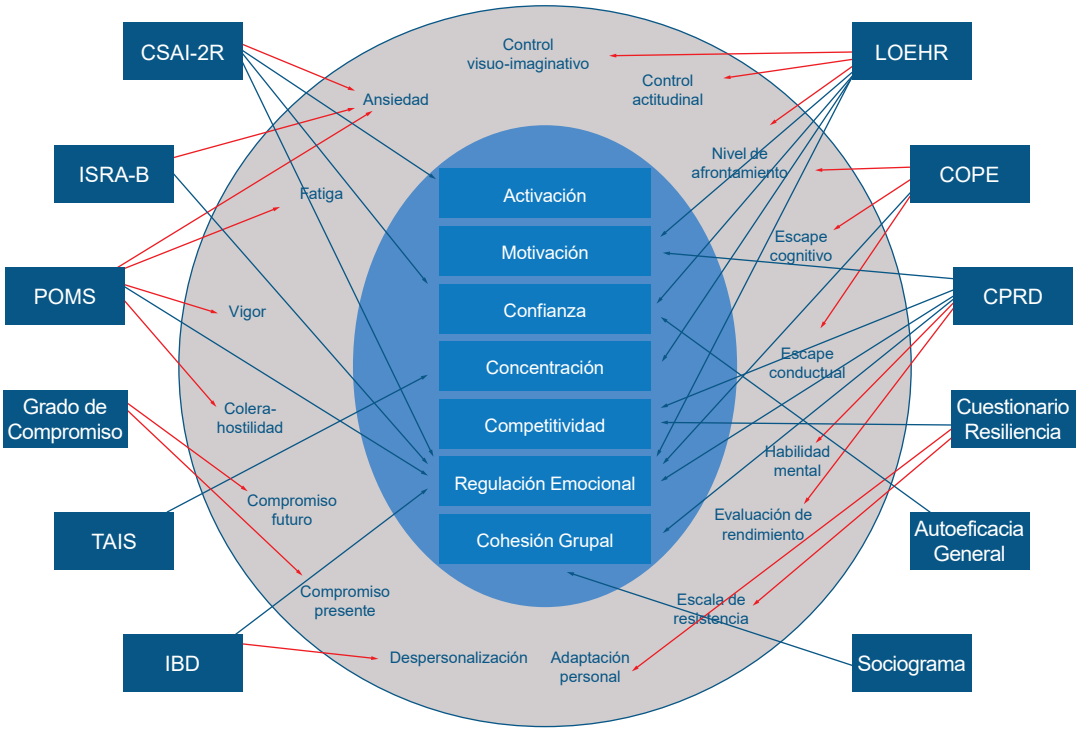



**Figura 3**. Resumen de pruebas que permiten valorar y monitorear variables relacionadas al rendimiento deportivo en atletas. Valoraciones primarias: línea azul. Valoraciones secundarias: línea roja.

## Entrenadores, Cuerpos Técnicos y Psicología Deportiva

Es necesario lograr desarrollar y potenciar aquellas habilidades que el entrenador y el cuerpo técnico pueden utilizar en la formación y en el desarrollo del rendimiento del atleta[23].

Los entrenadores, ejercen su función a través de:

- Enseñar y educar.
- Dirigir el equipo.
- Liderar al equipo.
  Propiciar la autonomía y bienestar Emocional.

## Enseñar y Educar:

Quien cumple el rol de entrenador debe favorecer los aprendizajes implicados, por lo cual no sólo debe saber de su deporte, sino que también debe tener habilidades para enseñarlo y generar la transferencia desde el entrenamiento a la competencia o partidos (**Tabla 5**). Debe enseñar, además, competencias en el ámbito emocional, enseñar valores que ayuden al atleta a ser mejor persona. Por lo tanto, es necesario que tenga un perfil Entrenador-educador, lo cual le será útil para trabajar tanto en la etapa formativo como también en la etapa con profesionales.

T**abla 5**. Rol del entrenador y cuerpos técnicos en el proceso de

| | |
|---|---|
| **Orientación a la tarea** | - Buscar objetivos de aprendizaje.<br>- Mejora permanente a nivel, físico, técnico, táctico y mental.<br>- Buscar el compromiso del propio atleta con su proceso de aprendizaje y desarrollo deportivo.<br>- Fomentar la curiosidad y querer ser mejor cada día.<br>- Enfatizar más los procesos que los resultados.<br>- Valorar y reforzar el trabajo y el esfuerzo asociado.<br>- Desarrollar y valorar el talento "innato", sumándole la capacidad de ser entrenable.<br>- Buscar la mejora de sus atletas y del equipo. |
| **Capacidad de enseñar** | - Tener una "filosofía", una comprensión sobre quiénes lo practican y qué se debe desarrollar.!<br>- Planificar los entrenamientos considerando el nivel de competencia de los atletas.<br>- Usar técnica del "Sándwich", indicar el error, plantear la corrección, generar expectativas de éxito.<br>- Reforzar acciones positivas y correctas.<br>- Consolidar aprendizajes<br>- Favorecer transferencia del entrenamiento a la competencia. |

## Dirigir el Equipo:

La dirección del equipo, que implica dirigir tanto deportes individuales como colectivos, aglutina diferentes herramientas o competencias (**Tabla 6**):

**Tabla 6**. Rol del entrenador y cuerpos técnicos en la dirección de equipos con atletas.

| | |
|---|---|
| **Comunicar** | - Transmitir información.<br>- Dar feedback.<br>- Transmitir claramente su "filosofía".<br>- Usar lenguaje concreto referido a hechos y comportamientos, ser claro, concreto y conciso, evitar interpretaciones.<br>- Ser asertivo, corregir y aprobar frecuentemente.<br>- Convivir y relacionarse con distintas personas en un clima afable y cordial.<br>- Cuidar los aspectos personales de los y las atletas. |
| **Motivar** | - Dirigir el esfuerzo y la persistencia.<br>- Transmitir la pasión, ilusión por el deporte.!<br>- Generar metas individuales diferentes.<br>- Proponer motivaciones "valiosas".<br>- Alinear objetivos personales con los del equipo. |
| **Construcción del equipo** | - Ayudar a la cohesión interna.<br>- Generar identidad colectiva, valores compartidos.<br>- Establecer metas colectivas.<br>- Tener normas y reglas de convivencia del equipo.<br>- Proponer roles y favorecer aceptación de los componentes del equipo. |
| **Manejar Conflicto** | - Asumir el conflicto como oportunidad de aprendizaje.<br>- Ayudar a los implicados a reflexionar sobre el conflicto creado.<br>- Buscar soluciones.<br>- Comprometerse con las decisiones.<br>- Favorecer participación del equipo en la gestión del conflicto.<br>- Proponer soluciones ecuánimes, no arbitrarias ni emocionales. |

# Liderar al Equipo:

Liderar al equipo implica tener ciertas competencias o habilidades como las descritas en la **Tabla 7**:

**Tabla 7**. Rol del entrenador y cuerpos técnicos en el liderazgo de equipos con atletas.

| | |
|---|---|
| **Liderazgo Interno** | - Ser empático.<br>- Actitud de apoyo y ayuda.<br>- Trabajar el dialogo y convencimiento.<br>- Alta exigencia en el esfuerzo, trabajo y aprendizaje.<br>- Ser ejemplo de comportamiento.<br>- Ser honesto y coherente.<br>- Apoyarse como colaboradores con otros líderes del equipo. |
| **Trabajo en equipo** | - Delegar y distribuir funciones en el cuerpo técnico.<br>- Desarrollar un clima de trabajo.<br>- Liderar el equipo de trabajo. |
| **Más allá del vestuario** | - Proponer y trasladar propia visión, filosofía, metodología de trabajo y valores al club o institución.<br>- Respetar normas y valores del club o institución.<br>- Mantener buena relación con los aficionados y medios de comunicación.<br>- Ser prudente y criterioso en las redes sociales.<br>- Cuidar la construcción de la propia "marca personal" |

## Autonomía y Bienestar Emocional:

Los entrenadores y cuerpos técnicos también deben propiciar autonomía y bienestar emocional acorde a lo descrito en la T**abla 8**:

**Tabla 8**. Rol del entrenador y cuerpos técnicos en la autonomía y bienestar emocional de los atletas.

| | |
|---|---|
| **Autogestión emocional** | - Alta autoconfianza.<br>- Estable emocionalmente.<br>- Optimista, positivo, proactivo.<br>- Transformar lo difícil en fácil.<br>- Seleccionar lo importante de lo accesorio.<br>- Gestionar conflictos propios.<br>- Ser eficaz y eficiente.<br>- Manejar la frustración propia.<br>- Cuidar las dimensiones personales, afectiva y sociales. |
| **Estilo de vida Saludable** | - Autoliderazgo.<br>- Ser ejemplo en cuidarse, descansar, alimentarse, nivel físico y emocional.<br>- Exigir con el ejemplo personal. |

## Variables, Valoración y Técnicas en Psicología Deportiva

La **Tabla 9** muestra la variable psicológica, cómo se puede valorar dicha variable y las técnicas para poder trabajar las variables descritas.

**Tabla 9**. Variable, valoraciones y técnicas en Psicología Deportiva UCAD.

| Variable | Valoraciones | Técnica |
|---|---|---|
| **Motivación** | CPRD<br>IPED (Loehr) | Psicoeducación.<br>Planteamiento de objetivos. |
| **Activación** | POMS<br>CSAI-2R | Psicoeducación.<br>Respiración abdominal.<br>Relajación progresiva de Jacobson.<br>Visualización. |

| | | |
|---|---|---|
| **Concentración** | IPED (Loehr) | **Ejercicios:**<br>Psicoeducación.<br>Identificando los distractores.<br>Modelo de Nideffer.<br>Rejilla.<br>**Técnicas:**<br>Establecimiento Objetivos.<br>Rutinas.<br>Control del Nivel Activación.<br>Control de pensamientos (Auto habla).<br>Visualización. |
| **Confianza** | CSAI-2R<br>IPED (Loehr) | Psicoeducación.<br>Autoconocimiento.<br>Identificación de fuentes de autoconfianza. |
| **Competitividad** | CPRD (Correlación de Variables) | Autodeterminación de objetivos.<br>Autoobservación.<br>Autorefuerzo.<br>Modelo 3R (22)<br>Register (Registrar)<br>Release (Aceptar)<br>Refocus (Reenfocar) |
| **Regulación emocional** | POMS<br>IPED (Loehr)<br>CPRD | |
| **Cohesión de Equipo** | CPRD<br>Sociograma | |

En síntesis, podemos trabajar todas las variables a través de las siguientes técnicas de intervención psicológica (**Tabla 10**):

**Tabla 10**. Resumen de variables y técnicas de Psicología Deportiva.

| Variable | Técnica |
|---|---|
| Motivación.<br>Activación.<br>Atención - Concentración.<br>Confianza.<br>Competitividad. cope<br>Regulación emocional. Estrés.<br>Equipo Deportivo | Psicoeducación.<br>Establecimiento de objetivos.<br>Respiración abdominal.<br>Relajación progresiva de Jacobson.<br>Entrenamiento autógeno.<br>Inoculación al estrés.<br>Visualización.<br>Establecimiento de rutinas.<br>Control de pensamientos (Auto habla).<br>Autoconocimiento.<br>Identificación de fuentes de autoconfianza.<br>Liderazgo.<br>Comunicación Efectiva.<br>Cohesión de equipos.<br>Resolución de conflictos.<br>Establecimiento de normas o reglas.<br>Sociograma.<br>Observación en terreno. |

*Cuestionario Sociodemográfico*

El cuestionario sociodemográfico que se utiliza, tiene como objetivo principal el de recabar los datos más relevantes del atleta que ingresa al Área de Psicología Deportiva de la UCAD. Está conformado por preguntas con distinto formato de respuesta que apuntan a recabar información en los siguientes tópicos[24].

**Datos personales** (los cuales la mayoría son recabado con anterioridad a través de la plataforma de gestión de la UCAD).

**Datos académicos y laborales:** nivel de estudios, trabajo, nivel de compatibilidad con la actividad deportiva, descripción de la carga de trabajo físico y psicológico extradeportivo, desarrollo profesional a largo plazo.

**Antecedentes Familiares:** nombre de los familiares con los cuales convive, nivel de parentesco, edad, ocupación (nivel socio económico), y descripción de la relación con los familiares.

**Antecedentes Deportivos:** deporte, edad de inicio, categoría, historial deportivo, mejores resultados, ranking actual y aspectos que le gustan y no de su deporte. Días y número de horas de entrenamiento a la semana, relación con el entrenador y compañeros de equipo, percepción de apoyo familiar para la práctica y objetivos deportivos a corto, mediano y largo plazo.

**Antecedentes de Salud** (lo cual se trabaja y se discute de manera interdisciplinaria con Área de Medicina Deportiva u otras Áreas involucradas): enfermedades y medicamentos que consume. Historial de lesiones deportivas, duración, tratamiento y efectos secundarios. Hábitos de descanso, hábitos de sueño (rutina, calidad y cantidad), alimentación y consumo de productos ergogénicos.

**Trabajo psicológico:** trabajo previo o actual con psicólogo deportivo, aprendizajes adquiridos y expectativas del proceso a realizar.

# Equipos de Biofeedback

El área de Psicología Deportiva de la UCAD cuenta con tres tipos de equipos de Biofeedback que permiten obtener información sobre el estado de diferentes procesos biológicos. El biofeedback (o biorretroalimentación) podría definirse como los procedimientos que permiten al atleta, a partir de información relacionada a la variable fisiológica de interés, y que es entregada de manera inmediata, constante y precisa, pueden fomentar la modificación de sus valores de forma voluntaria, sin necesitar la mediación de instrumentos químicos, mecánicos y/o electrónicos[25]. Estos equipos están disponibles para ser usado con y por los atletas, con el fin de asegurar una intervención en los diferentes aspectos que influyen en su rendimiento, como, por ejemplo:

- Ansiedad.
- Valoración y control de estrés.
- Aprendizaje de técnicas de respiración y relajación.
- Aumento de la concentración.
- Calidad de sueño y reducción del insomnio.
- Control emocional.

Equipos:

**emWave® Pro:** permite el monitoreo de la variabilidad del ritmo cardiaco (HRV) en forma instantánea, facilitando el aprendizaje de técnicas para crear un estado óptimo en el que el corazón, la mente y las emociones operan de forma sincronizada y equilibrada.

**DAVID Delight:** permite la Estimulación Audio Visual AVE que intenta proporcionar de forma no invasiva el máximo bienestar físico y mental.

**Biofeedback:** permite obtener información relacionada a la conductividad de la piel, circulación sanguínea/pulso, temperatura, presión sanguínea, y activación muscular.

# Protocolo de Uso DAVID Delight Pro

**Objetivo General:** mejorar la calidad del sueño en atletas de alto rendimiento a través de un trabajo inter/transdisciplinario, el fomento de psico-educación y dispositivo tecnológico DAVID Delight Pro.

**Metodología:** sesión de educación de higiene de sueño. Uso de dispositivo tecnológico DAVID Delight Pro. Herramienta configurada por comando de control de estimulación audiovisual, expresado mediante gafas y audífonos, que tiene por objetivo favorecer, por medio de estos estímulos, estados mentales específicos en quien los usa.

Frente a la entrega de un dispositivo tecnológico a un atleta:

**1.** Se pesquisa, a partir del monitoreo o valoración con psicólogo deportivo y/o médico deportivo UCAD, vivencia subjetiva de malestar físico y/o fatiga en el atleta a consecuencia de periodo de entrenamiento y/o calidad de sueño deficiente.

**2.** Se implementa la encuesta Índice de Severidad del Insomnio (ISI) de manera de constatar alteración clínica de la calidad del sueño, lo que se ve reflejado en un ISI mayor o igual a 8 puntos.

**3**. Se implementa 1 sesión de psico-educación respecto de procesos de higiene del sueño y la importancia de descanso en función del proceso de entrenamiento, indagando en relación a antecedentes de cuadro de epilepsia personal y/o en familiares cercanos, valorando viabilidad de uso de dispositivo tecnológico como recurso complementario con el atleta.

**4.** Se enseña uso de dispositivo tecnológico en sala, de manera de supervisar una primera aplicación dentro de un ambiente controlado. Una vez constatada la existencia de condiciones óptimas para su uso por parte del atleta se le hace entrega por 10 días continuos para su uso. El uso del dispositivo debe ser previo a la conciliación del sueño. En el

programa de uso Nº3, el atleta debe ponerse los lentes y audífonos propios del equipo. El programa en referencia se encuentra orientado a estimular frecuencias cerebrales en 6 y 10 Hz, con un tiempo estimado de uso de 36 minutos de duración. Tras su uso, el equipo debe ser retirado, continuando su descanso de manera habitual.

**5.** Tras el uso y devolución del equipo, el atleta será monitoreado a través de la encuesta Índice de Severidad del Insomnio (ISI) u otro instrumento de similares características, de manera de constatar la evolución en la alteración.

## Protocolo Perfil de Estrés Con emWave® Pro

*Condiciones de la valoración*

**Lugar:** la valoración se debe hacer en un sitio cerrado, sin ruido, con buena ventilación e iluminación, y con una temperatura agradable.
**Instrumento:** Software EmWave Pro Desktop, Módulo USB emWave Pro.

*Procedimiento*

**Duración:** aproximadamente de 10- 15 minutos (sin retroalimentación).
**Aspectos a tener en cuenta antes del inicio de la sesión:** durante la sesión deben estar presentes el psicólogo deportivo, el atleta y, si es necesario, un asistente, los cuales deben permanecer en **silencio** con previa autorización del atleta. Es importante que elementos ajenos a la sesión no interrumpan el protocolo.

*Estructura de la sesión*

La sesión estará dividida en 6 fases, las cuales estarán organizadas de la siguiente manera:

*Línea Base (2 minutos)*
En esta fase se pretende observar el estado base respecto a la Variabilidad del Ritmo Cardiaco del atleta (HRV). Durante la tarea, el

psicólogo deportivo iniciará el registro de la HRV por el tiempo destinado a esta fase (2 minutos). El profesional le pedirá al atleta que mantenga los ojos cerrados, la espalda recta, no cruzando los brazos, ni los pies y quedándose los más quieto posible. Después de seleccionar el usuario correspondiente al atleta, se inicia el registro hasta completar los dos minutos.

*Estrés (prueba siete seriales) (2 minutos)*

Durante esta fase se registrará la respuesta que el atleta genere ante una tarea estresora. El profesional iniciará el registro como se explicó anteriormente y le indicará al atleta la siguiente instrucción:

*…"le voy a dar un número (1081) y va a restar de siete en siete dándome la respuesta en voz alta y lo más rápido posible"…*

El atleta procederá a realizar la actividad: "*mil ochenta y uno, mil setenta y cuatro, mil sesenta y siete…*". Si el atleta comete algún error, reiniciará el conteo desde el número que se le dio (1081). Constantemente se le estará solicitando que realice el cálculo con mayor velocidad, con el fin generar estrés en él. Completados los dos minutos se detendrá el registro y se le pedirá al atleta interrumpir la actividad.

*Recuperación 1 (2 minutos)*

En esta fase el atleta buscará relajarse lo más que pueda manteniendo los ojos cerrados. El profesional iniciará el registro del programa y se le indicará al atleta que busque relajarse, con los ojos cerrados, bajo la siguiente instrucción:

*…"siéntese cómodo y relájese lo más que pueda"…*

Completados los dos minutos, se detendrá el registro y se le pedirá al atleta interrumpir la actividad.

*Estrés 2 (evento estresante; 2 minutos)*

El objetivo de esta fase es registrar la respuesta del atleta ante la evocación de una situación estresora. El profesional iniciará el registro y le solicitará al atleta que describa un evento o situación que haya sido significativo y estresante en competencia o entrenamiento; explicando la situación, lo que le hizo sentir, lo que pensaba en ese momento. Completados los dos minutos, se detendrá el registro y se le pedirá al atleta interrumpir la actividad.

*Recuperación 2 (2 minutos)*

El atleta buscará relajarse lo más que pueda. El procedimiento en esta fase se realizará como esta descrito en la primera fase de recuperación. Completados los dos minutos se detendrá el registro y se le pedirá al atleta interrumpir la actividad.

*Retroalimentación*

De acuerdo a los datos arrojados en las fases anteriores, el psicólogo deportivo le describirá al atleta el perfil observado y se contrastará con la información proporcionada por el atleta.

## Pilar de Prevención de Lesiones y Enfermedades

La lesión deportiva es definida como una alteración del estado físico de la persona, que se origina por la práctica deportiva y tiene como resultado una limitación temporal de la actividad física[26]. En este sentido, la alta exigencia que está asociada al deporte de alto rendimiento genera que un alto porcentaje de sus participantes sufran en algún momento de su carrera una lesión deportiva que podrá variar en función de su gravedad, nivel de intervención y tiempo de recuperación de la lesión. Lo anterior ha generado que un área aplicada de la psicología del deporte, "la psicología de la lesión deportiva", centre su interés en la prevención, tratamiento y reintegro deportivo, a través de un enfoque inter/transdisciplinario, que permita explicar la intervención de los factores variados y heterogéneos que están en la base de una lesión deportiva[27]. Con respecto a los factores generadores

o causantes de las lesiones deportivas, se menciona que existen dos tipos de factores que se deben considerar[28]:

**Factores externos:** infraestructura, material deportivo y la conducta de otros atletas.

**Factores internos:** aspectos medico-fisiológicos, biomecánicos, psicológicos, historial de lesiones, alimentación inadecuada y realización de conductas de riesgo.

En relación a esto último, y en lo que respecta a los aspectos psicológicos, la relación entre psicología y lesiones deportivas comenzó a estudiarse con el modelo de estrés y lesión de Andersen y Williams[29], el cual menciona que la personalidad, el historial personal de estrés diario y los recursos de afrontamiento del atleta serían los factores psicológicos que estarían en la base de la vulnerabilidad o riesgo del atleta a lesionarse.

## Intervención Psicológica para la Prevención de Lesiones Deportivas

El proceso de intervención de las lesiones deportivas desde la prevención, debe partir desde la mirada que nos presenta el modelo de Andersen y Williams, el cual apunta fundamentalmente a la reducción del estrés[29]. En este sentido, se establecen dos líneas de acción para enfocarnos en la prevención y modificar los aspectos fisiológicos y atencionales de la respuesta de estrés.

**Las líneas de acción son:**

**1.** Cambiar la valoración cognitiva de las situaciones estresantes.
**2.** Entrenamiento psicológico del atleta en habilidades psicológicas básicas o estrategias de afrontamiento.
Con respecto a la segunda línea de acción, mencionamos algunas de las habilidades que son importantes de trabajar con los atletas para minimizar sus respuestas frente a un potencial estresor (**Tabla 11**)[26].

**Tabla 11**. Habilidades a trabajar con los atletas para minimizar riesgos de lesión/enfermedad.

| Habilidades a Entrenar |
|---|
| Restructuración cognitiva. |
| Potenciación de la confianza. |
| Interrupción de pensamientos negativos. |
| Entrenamiento en relajación. |
| Entrenamiento en visualización. |
| Apoyo social. |

Finalmente mencionaremos un programa de intervención psicológica planteado por Palmi[27], el cual se utiliza exitosamente para la prevención de lesiones deportivas (**Tabla 12**). Este programa está conformado por 4 áreas, las cuales están enfocadas en el trabajo que se debe realizar con entrenadores y atletas para el entrenamiento de habilidades y estrategias de afrontamiento.

**Tabla 12**. Programa de intervención psicológica para la prevención de lesiones deportivas en atletas.

| Mejorar la formación de los técnicos | Entrenamiento de recursos psicológicos | Planificación bajo objetivos realistas | Mejorar los recursos técnicos |
|---|---|---|---|
| Información de factores de riesgo | Control de activación | Progresión de exigencia | Información post ejecución |
| Importancia de la preparación física | Control atencional | Variedad de ejercicios y situaciones | Análisis de videos: acciones exitosas y erróneas |
| Importancia de los hábitos deportivos | Control de imágenes y pensamientos | Ajuste del entrenamiento a la individualidad | Entrenamientos simulando situaciones de competencias |
| | Ajuste de objetivos | | |

# Bibliografía

**1.** Gill, D. L., Williams, L. & Reifsteck, E. J. Psychological dynamics of sport and exercise. (2017).

**2.** Córdoba, E. A. P. & Contreras, O. E. Historia de la Psicología del Deporte. Apunt. Psicol. 33, 39-46 (2015).

**3.** Casis Sáenz, L. & Zumalabe Makirriain, J. M. Fisiologia y psicología de la actividad física y el deporte. (Elsevier, 2008).

**4.** Dosil Díaz, J. Psicología de la actividad física y del deporte. (Mc Graw Hill, 2008).

**5.** Weinberg, R. S. & Gould, D. Fundamentos de psicología del deporte y del ejercicio físico. (Panamericana, 2010).

**6.** Diment, G., Henriksen, K. & Larsen, C. H. Team Denmark's sport psychology professional philosophy 2.0. Scand. J. Sport Exerc. Psychol. 2, 26-32 (2020).

**7.** Recio, G. P., Cortés, J. M. & Cercos, J. F. CAR: entrenamiento psicológico para los Juegos Olímpicos de Barcelona 92. Rev. Psicol. Deporte 2, 67-79 (1993).

**8.** Molina, J., Sandín, B. & Chorot, P. Sensibilidad a la ansiedad y presión psicológica: efectos sobre el rendimiento deportivo en adolescentes. Cuad. Psicol. Deporte 14, 45-54 (2014).

**9.** Riera, J., Tubío, J. C. C., Guerrero, J. P. & Sobrino, G. D. Psicología y deporte: habilidades del deportista consigo mismo. Apunts Educ. Física Deport. 82-93 (2017).

**10.** Palmi Guerrero, J. & Riera Riera, J. Las competencias del deportista para el rendimiento. Cuad. Psicol. Deporte 17, 13-18 (2017).

**11.** Malkin, V., Serpa, S., Garcia-Mas, A. & Shurmanov, E. New Paradigm in Modern Sports Psychology. Rev. Psicol. Deporte J. Sport Psychol. 29, 149-152 (2020).

**12.** Lee, M. J., Whitehead, J. & Balchin, N. The Measurement of Values in Youth Sport: Development of the Youth Sport Values Questionnaire. J. Sport Exerc. Psychol. 22, 307-326 (2000).

**13.** García Pazmiño, M. A. Psicología del deporte: presiones deportivas y disposición combativa. (Quito: UCE., 2016).

**14.** Moran, A., Cisneros Herrera, J., Moreno Zarco, G. & Toner, J. Psicología del deporte. (2018).

**15.** Buceta, J. M. Psicología del deporte de alto rendimiento. (Dykinson, 2021).

**16.** Jiménez Lerón, A. & Vázquez Pineda, F. Manual de ejercicios en psicología del deporte: cinco habilidades psicológicas para el éxito deportivo. (2016).

**17.** Nideffer, R. M. Test of attentional and interpersonal style. J. Pers. Soc. Psychol. 34, 394-404 (1976).

**18.** Benedicto, L. V. & Ruiz, E. J. G. de L. F. Autoconfianza y deporte: aportaciones de la psicología del deporte para su optimización. in Manual de psicología del deporte, 2002, ISBN 84-8425-207-8, págs. 235-257 235-257 (Diego Marín DM, 2002).

**19.** Schwarzer, R. & Baessler, J. Evaluación de la autoeficacia: adaptación española de la Escala de Autoeficacia general. Ansiedad Estrés 2, 1-8 (1996).

**20.** Alejo García-Naveira Vaamonde. Avances en psicología del deporte. (Paidotribo, 2016).

**21.** Rovella, A. T., Giaroli, A. E., Brusasca, M. C. & Lucero, L. J. Regulacion emocional y práctica deportiva en jóvenes universitarios. in (Facultad de Psicología - Universidad de Buenos Aires, 2018).

**22.** Gratz, K. L. & Roemer, L. Multidimensional Assessment of Emotion Regulation and Dysregulation: Development, Factor Structure, and Initial Validation of the Difficulties in Emotion Regulation Scale. J. Psychopathol. Behav. Assess. 26, 41-54 (2004).

**23.** Carrascosa, J. La relación Entrenador - Jugador  Saber Competir. Saber Competir https://sabercompetir.com/relacion-entrenador-jugador/ (2019).

**24.** Ruiz Barquín, R. Análisis de las características psicológicas, deportivas y sociales en el deporte del judo a nivel competitivo una propuesta teórica y metodológica para la predicción del rendimiento. (Universidad Autónoma de Madrid, 2004).

**25.** Conde Pastor, M. & Menéndez Balaña, F. J. Revisión sobre las técnicas de biofeedback y sus aplicaciones. Acción Psicológica 1, 165-181 (2002).

**26.** Peña Ruiz, A. & López Moranchel, I. Psicología y lesión deportiva: una revisión. (Universidad Pontificia Comillas, 2019).

**27.** Palmi Guerrero, J. & Solé Cases, S. Psicología y lesión deportiva: estado actual. Apunts Educ. Física Deport. 23-29 (2014).

**28.** Montero, F. J. O., Ruiz, E. J. G. de L. F. & Zafra, A. O. Influencia de los factores psicológicos en las lesiones deportivas. Papeles Psicólogo 31, 281-288 (2010).

**29.** Williams, J. M. & Andersen, M. B. Psychosocial antecedents of sport injury: Review and critique of the stress and injury model. J. Appl. Sport Psychol. 10, 5-25 (1998).